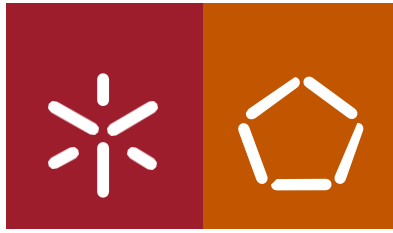


**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Joana Filipa Gonçalves de Araújo

**Ferramentas BIM de Apoio  
à Gestão de Obra**





**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Joana Filipa Gonçalves de Araújo

**Ferramentas BIM de Apoio  
à Gestão de Obra**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor João Pedro Maia Couto  
E do  
Engenheiro José Carlos Basto Lino

25 de novembro de 2016





## DECLARAÇÃO

Nome: Joana Filipa Gonçalves de Araújo

Endereço eletrónico: jfgaraujo17@gmail.com

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14189217

Título da dissertação: Ferramentas BIM de Apoio à Gestão de Obra

Orientador(es):

Professor Doutor João Pedro Maia Couto

Engenheiro José Carlos Basto Lino

Ano de conclusão: 2016

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A  
REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura:



*"The future belongs to those  
who believe in the beauty of their dreams"*

- **Eleanor Roosevelt**



## AGRADECIMENTOS

Na conclusão desta etapa, gostaria de agradecer a todos os que fizeram parte do meu percurso académico, e em especial aqueles que me acompanharam durante a elaboração desta dissertação.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Eng. José Carlos Lino, pela orientação e dedicação imprescindíveis no desenvolver deste trabalho. Pelos ensinamentos, pela motivação e sobretudo pela sua paciência e disponibilidade.

Igualmente ao meu orientador Professor João Pedro Couto, pela oportunidade de desenvolver esta dissertação, assim como pela transmissão de conhecimentos e experiência, ao longo do percurso académico que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Agradeço ainda à empresa BIMMS, Lda pela possibilidade de desenvolver esta tese em ambiente colaborativo, e aos seus membros pelos conselhos para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, que me acompanharam neste percurso, agradeço os bons momentos passados, o espírito de companheirismo e a partilha de conhecimentos.

Agradeço à Cláudia, à Filipa, aos Pedros, ao Zé, à Carla, à Sónia, e à Laura pelo apoio nesta dissertação. Agradeço especial à Isabel pela amizade e pela presença em todos os momentos. À Margarida um muito obrigado pela amizade, pela força, pelos conselhos e carinho sempre demonstrados.

À minha família, em especial aos meus pais e irmãos, que sempre me acompanharam e apoiaram em todos os momentos, queria agradecer por todo o suporte, carinho e união, pois sem eles não seria possível atingir esta etapa. Aos meus avós pelo amor e pelas experiências de vida, aos meus tios, aos meus primos e em particular às minhas primas, Mariana, Guida e Catarina por crescerem comigo. Um especial obrigado ao meu Tio Paulo, pelas influências, conhecimentos e conselhos dados. Ao meu Pai, por todo o apoio nesta fase e toda a paciência e dedicação que tem tido comigo.

E em último lugar, mas não menos importante agradeço a minha afilhada, Joaquina, pela doçura, pela sua alegria, carinho, pela força e motivação que me dá e pela possibilidade de a ver crescer.



## RESUMO

Ao contrário de outras indústrias, onde se privilegia a produção em série e em ambientes controlados, a indústria da construção tem, em cada projeto, um produto único, variando a localização, a forma e a diversidade dos materiais aplicados, o que dificulta a implementação de processos produtivos e aguçá a necessidade da implementação de processos de gestão com vista à redução de desperdícios e de custos.

Na ótica da construção, as direções de obra têm procurado aplicar diversas ferramentas para o controlo dos custos e dos prazos da obra, mas que, usualmente, não estão interligados. O BIM (*Building Information Modeling*) surge como resposta a esta problemática, como metodologia colaborativa integrada.

Esta Dissertação tem como principal objetivo, apresentar um conjunto de ferramentas de gestão que controlam o tempo e o custo ao longo da construção, e a integração destas com o BIM 4D e 5D.

Como exemplo prático, modelou-se um edifício de serviços em *REVIT*, aplicou-se a *clash-detection* a esse modelo através do *Solibri Model Checker* e incluiu-se o faseamento construtivo com o *Navisworks Manage*. A partir deste, integraram-se gráficos, tabelas dinâmicas de tempos e custos, baseados no *Earned Value Management* (EVM).

Obteve-se como resultado um modelo de cores identificativas dos elementos, que permite em cada momento aferir o estado da construção.

Entende-se que a metodologia BIM usada nesta tese, para além de permitir agregar as várias informações do modelo, potencia bases que podem antecipar problemas em obra (compatibilização da modelação), e apresentar ferramentas para a gestão dos custos e do tempo ao longo da construção.

**Palavras-Chave:** *Gestão da Construção, Earned Value Management (EVM), BIM 4D, BIM 5D.*





## ABSTRACT

The construction industry has, in each project, a unique product, with a different location, form and diversity of applied materials, which make more difficult the implementation of Management processes, rather than other industries where the focus is on mass production and in controlled environments.

In construction vision, the construction management team has sought to apply various tools for the control of costs and schedules, but usually they are not connected. The BIM (Building Information Modeling) arises as a response to this problem, with a collaborative integrated methodology.

This dissertation has as main objective, to present a set of management tools that better control the time and the cost throughout the construction, integrating them with the BIM 4D and 5D.

As a practical example, a service building was modeled in REVIT, the clash-detection was applied to this model through the Solibri Model Checker, and a constructive phasing with Navisworks Manage was included. From this, graphs, time and costs tables based on Earned Value Management (EVM) were integrated.

Through this methodology resulted in a coloured model identifying the elements and the state of the construction for a given date.

It is understood that the BIM methodology used in this work, besides allowing to aggregate the various information of the model, potentiates bases that can anticipate problems in the work (compatibilization of the modeling), and present tools for the management of the costs and the time along the construction.

**Keywords:** *Construction Management, Earned Value Management (EVM), BIM 4D, BIM 5D.*



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento Geral .....	1
1.2 Âmbito e Objetivos .....	2
1.3 Organização da Dissertação .....	2
<b>2 ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>5</b>
2.1 Gestão da Construção .....	5
2.2 Métodos e Indicadores de Gestão: Earned Value Management (EVM).....	7
2.2.1 Análises de desempenho e de previsão .....	9
2.2.1.1 Análises do desempenho e previsão do tempo.....	11
2.2.1.2 Análises do desempenho e previsão de custo.....	12
2.2.2 Métodos do planeamento da construção.....	16
2.3 Building Information Modeling (BIM).....	21
2.3.1 Dimensões do BIM.....	24
2.3.2 Processo Tradicional vs. Colaborativo BIM.....	26
2.3.2.1 Modelos de contrato de empreitada .....	28
2.3.2.2 Integrated Project Delivery (IPD) .....	32
2.3.3 Faseamento construtivo: BIM 4D.....	35
2.3.4 Controlo de custos - BIM 5D .....	40
2.3.5 Software BIM 4D e 5D.....	42
<b>3 MODELAÇÃO 3D .....</b>	<b>45</b>
3.1 Aplicação prática da metodologia BIM na gestão da construção .....	45
3.2 Estruturas .....	48
3.2.1 Fundações: Sapatas e muros de fundação.....	51

3.2.2	Vigas e Pilares .....	51
3.2.3	Capitéis .....	51
3.2.4	Lajes .....	52
3.2.5	Bunkers .....	53
3.3	Arquitetura .....	55
3.4	Especialidades MEP .....	56
3.4.1	Análise de incompatibilidades: 2D CAD vs. 3D .....	57
3.4.2	Modelação das Redes .....	60
3.5	Modelos de Vista .....	70
3.6	Deteção de Conflitos - Clash-Detection .....	72
<b>4</b>	<b>FASEAMENTO CONSTRUTIVO (MODELO 4D E 5D) .....</b>	<b>83</b>
4.1	Planeamento da construção .....	84
4.2	BIM 4D e 5D no Navisworks (Software de Simulação).....	85
4.2.1	Exportação do Modelo 3D.....	85
4.2.2	Importar o cronograma da construção .....	87
4.2.3	Associação dos objetos 3D às tarefas do cronograma .....	88
4.2.4	Simulação 4D .....	90
<b>5</b>	<b>FERRAMENTAS DE APOIO À GESTÃO DE OBRA.....</b>	<b>95</b>
5.1	Passagem dos dados do modelo para software de gestão .....	98
5.2	Análise EVM .....	99
5.2.1	Determinação do valor acumulado dos custos EVM (PV, EV e AC) .....	99
5.2.2	Cálculo automático dos indicadores de gestão .....	101
5.3	Resultados da análise EVM com o modelo 4D e 5D.....	102
5.3.1	Tabelas dinâmicas custo / tempo .....	103
5.3.2	Gráfico dinâmicas custo / tempo (por semanas).....	104
5.3.3	Tabelas dinâmicas dos indicadores.....	105
5.3.4	Modelo descritivo de cores da construção.....	108
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>113</b>
6.1	Conclusões Gerais.....	113
6.2	Limitações e Desenvolvimentos Futuros .....	115

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO I – CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO II – CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO III – CAPÍTULO 5.....</b>	<b>132</b>



# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produtividade das indústrias não-agrícolas desde 1964 a 2012 (Teicholz, 2013)	6
Figura 2 – Gráfico-tipo EVM (PMI, 2011) .....	9
Figura 3 – Relações entre os medidores EVM de performance, (PMI, 2005) .....	10
Figura 4 – Representação gráfica dos indicadores EVM (Ambriz & Landa, 2015) .....	15
Figura 5 – Tipologia dos métodos de planeamento da construção (Kenley & Seppänen, 2010) .....	17
Figura 6 – Gráfico de barras - Gantt (Kenley & Seppänen, 2010).....	17
Figura 7 – (a) Divisão por pisos; (b) divisão por zonas em planta (H. Sousa & Monteiro, 2011).....	20
Figura 8 – Gráfico de Linha de Balanço, (H. Sousa & Monteiro, 2011). ....	21
Figura 9 - Processo de trabalho (workflow) BIM, adaptada de (Tekla, 2016).....	22
Figura 10 – Ambiente de trabalho colaborativo BIM (Hardin & McCool, 2015) .....	23
Figura 11 – Potencialidades do BIM (Jeong, Eastman, Sacks, & Kaner, 2009) .....	24
Figura 12 – Dimensões do BIM, (Mubarak, 2015). ....	26
Figura 13 –Processo tradicional colaborativo CAD vs. Processo colaborativo BIM, (Thomassen, 2011). ....	28
Figura 14 – Contratos de empreitada DB e DBB respetivamente (Eastman et al., 2011)...	30
Figura 15 – Processos tradicionais: Comparação entre os contratos DBB e DB, (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008) .....	30
Figura 16 –Processo colaborativo: Fases de trabalho Integrated Project Delivery (IPD), (Succar, 2009).....	31
Figura 17 – Integrated Project Delivery na integração das várias especialidades de um projeto, (Florida Consultants, 2016).....	32
Figura 18 – Curva de MacLeamy (AIA, 2007) .....	34
Figura 19 - Otimização da curva tradicional pela antecipação das tomadas de decisões, resultando na Curva de MacLeamy otimizada< .....	35
Figura 20 - Obtenção de um modelo BIM 4D (US General Services Administration, 2009) .....	35
Figura 21 – Exemplo de representação do planeamento BIM na construção da componente estrutural de um edifício (COBIM, 2012) .....	37
Figura 22 – Exemplo de estrutura hierarquizada WBS (Expert Program Management, s.d.) .....	39

Figura 23 – Fluxo da estimativa de custo de um objeto (Vico Software, n.d.).	42
Figura 24 – Fluxo de Trabalho utilizado na metodologia adotada	45
Figura 25 – Modelo 3D completo	47
Figura 26 – Representação da Grelha criada no modelo.	48
Figura 27 – Vista Lateral Esquerdo do modelo Revit para a especialidade de Estruturas..	49
Figura 28 – Vista Frontal do modelo Revit para a especialidade de Estruturas	49
Figura 29 – Modelação das estruturas por níveis: (1) Fundações (Piso -1); (2) Piso útil (Piso 0) e (3) modelação da cobertura do piso 1	50
Figura 30 – Sequência de modelação da Laje maciça de 15 cm: (1), (2), (3), (4) e (5), e produto final modelado (6).	52
Figura 31 – Representação 3D final das lajes e a sua divisão.	53
Figura 32 – Vista completa dos Bunkers.	54
Figura 33 – Vista de Recorte dos Bunkers.	54
Figura 34 – Vista 3D recortada da especialidade de Arquitetura.	55
Figura 35 – Exemplo da composição de uma parede exterior associada ao seu nível de detalhe.	56
Figura 36 – Alturas livres para as zonas com capitéis e sem capitéis.	58
Figura 37 – Exemplo de desvio de cruzamentos de condutas em zonas de capitéis: (1) Traçado em planta 2D CAD; (2) Traçado em planta do modelo 3D.	58
Figura 38 – resultado da compatibilização dos capitéis com as redes.	59
Figura 39 – Identificação de incompatibilidade entre a arquitetura e as redes (à esquerda) e desvio das redes no Revit vista em plana (à direita).	59
Figura 40 – Vista da compatibilização em 3D.	60
Figura 41 – Esquema da organização da modelação MEP.	60
Figura 42 – Planos de vista definidos para o projeto de instalações.	61
Figura 43 – Níveis descritivos dos planos de vista.	61
Figura 44 – Modelo 3D das redes de abastecimento de água e equipamentos sanitários. ..	62
Figura 45 – Modelo 3D das redes de drenagem e saneamento (residuais e pluviais)	63
Figura 46 – Numeração das caixas de Visita.	64
Figura 47 – Modelação paramétrica das caixas de visita.	65
Figura 48 – Parametros utilizados para a modelação dos objetos “caixas de visita”.	66
Figura 49 – Vista 3D da rede hidráulica e equipamento mecânicos.	67
Figura 50 – Distribuição das redes hidráulicas vistas em corte.	68
Figura 51 – Distribuição das redes hidráulicas em planta.	68



Figura 52 – Vista 3D da estrutura com rede aerólica da cobertura- .....	69
Figura 53 – Esquema ilustrativo da divisão da rede aerólica que serve a cobertura e o piso. .....	70
Figura 54 – Três passos na elaboração dos modelos de vista.....	71
Figura 55 – Filtros criados no Revit. ....	71
Figura 56 – View Templates para as três especialidades em vista 3D. ....	72
Figura 57 – Coordenação feita no SMC. ....	73
Figura 58 – Regras usadas para compatibilização BIM. ....	73
Figura 59 – Processo iterativo do Revit com o SMC. ....	74
Figura 60 – Exportação IFC. ....	75
Figura 61 – Ambiente de trabalho no SMC.....	75
Figura 62 – Relatório geral SMC .....	76
Figura 63 - Detecção e visualização das interseções das condutas com capitéis no SMC....	77
Figura 64 – Número de interseções entre unidades de serviço e os capitéis. ....	77
Figura 65 – Identificação de colisões com os capitéis.....	78
Figura 66 – Coordenação das instalações com os capitéis vista a partir de um pequeno troço. .....	78
Figura 67 – Pormenor de vista final solucionada para um capitel de grande dimensão.....	78
Figura 68 – Identificação das colisões no SMC e a sua visualização no Revit.....	79
Figura 69 – Desvio das tubagens de água vista em planta e em 3D no Revit. ....	79
Figura 70 - Interseções dos elementos da estrutura. ....	80
Figura 71 - (a) e (b) apresentam-se colisões entre elementos da estrutura (lajes e muros de fundação) e as instalações MEP. ....	81
Figura 72 – Esquema corretivo de interseções MEP com Estrutura. ....	81
Figura 73 – Colisão de paredes de alvenaria com pilares. ....	82
Figura 74 – Procedimento elaborado para o faseamento construtivo 4D/5D.....	83
Figura 75 – Atividades de resumo do projecto.....	84
Figura 76 – Propriedades de exportação para o Navisworks.....	86
Figura 77 – Ficheiro NWC gerado. ....	86
Figura 78 – Atribuição das colunas do planeamento às do Navisworks. ....	87
Figura 79 – Search e Selection Sets.....	88
Figura 80 – Seleção dos elementos das Fundações com recurso ao Find Items. ....	89
Figura 81 – Seleção da categoria AVAC e ambiente no Navisworks. ....	89
Figura 82 – condições do Find Items gravadas. ....	90

Figura 83 – Propriedades da animação 4D.....	91
Figura 84 – Propriedades de exportação da animação. ....	91
Figura 85 – Início dos trabalhos de execução das fundações. ....	92
Figura 86 – Finalização do trabalhos de fundações e iníncio da execução da superestrutura. .....	92
Figura 87 – Planeamento elaborado por semana da construção do ano. ....	96
Figura 88 – Registo dos valores de EV e AC no MS Project.....	97
Figura 89 – Atualização da Data Source no Navisworks. ....	97
Figura 90 – Cronograma atualizado no Navisworks. ....	98
Figura 91 - (a) Planeamento por semanas; (b) Custos e datas das tarefas; (c) Ligação Excel .....	98
Figura 92 – Tabela de registo e cálculo automático do acumulado dos custos no Excel para o PV.....	99
Figura 93 – Propriedade criada pelo TimeLiner que permite adicionar uma relação de cores. .....	108
Figura 94 – Atribuição de cores aos objetos com base nas propriedades de simulação....	110
Figura 95 – Exmplos de visualização de análise em filtros de vista. ....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Questões na gestão de projetos e respectivos indicadores EVM (PMI, 2005) .....	11
Tabela 2 – Interpretações das medidas do desempenho EVM, (N. Sousa, 2008) .....	16
Tabela 3- Exemplo de atribuição de cores a estados da construção adaptada de (COBIM, 2012).....	37
Tabela 4 – Principais Ferramentas com capacidades BIM 4D (Salgado, 2016) .....	43
Tabela 5 – Tabela de cálculo das cotas das caixas de visita e as suas dimensões.....	65
Tabela 6 – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.....	103
Tabela 7 – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.....	103
Tabela 8 – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.....	103
Tabela 9 – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 8 a 21.....	106
Tabela 10 – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 22 a 36.....	106
Tabela 11 – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 36 a 51.....	107



## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

3D	Tridimensional
4D	3D + Tempo
5D	3D + 4D + Custo
AC	Actual Cost
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	American Institute of Architects
APM	Association for Project Management
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BAC	Budget at completion
BCWS	Budgeted Cost of Work Schedule
BIM	Building Information Modeling
BIMMS	Building Information Modeling Solutions
CAD	Computer Aided Design
CPI	Cost Performance Index
CPM	Critical Path Method
CV	Cost Variance
DB	Design Build
DBB	Design Bid Build
EAC	Estimate at Completion
EACt	Time Estimate at completion
ETC	Estimate to complete
EV	Earned Value
EVM	Earned Value Management
GC	General Contractor
IPD	Integrated Project Delivery
LOB	Line Of Balance
LOD	Level of Development
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
NBIMS	National Building Information Modeling Standard
NWC	Navisworks Cach
PDCA	Plan-Do-Check-Act

PMB	Performance Measurement Baseline
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PV	Planned Value
SMC	Solibri Model Checker
SPI	Schedule Performance Index
SV	Schedule Variance
TCPI	To-complete Performance Index
VAC	Variance at Completion
VC	Ventilo-conectores
WBS	Work Breakdown Structure

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Enquadramento Geral

Em contraste com as indústrias não agrícolas, onde se privilegia a produção em série e em ambientes controlados, a indústria da construção, contém em cada projeto, um produto único, alterando a localização, a forma e até a variedade dos materiais aplicados (PMI, 2004).

O processo da indústria da construção, essencialmente, baseia-se em alguns passos/operações, que se repetem a cada novo empreendimento, como o estudo de viabilidade económica e respetiva decisão, a elaboração do projeto nas diferentes especialidades (arquitetura, estrutura, instalações especiais e arranjos exteriores), a orçamentação do projeto, a construção e a manutenção ao longo da vida do empreendimento.

Em cada uma destas operações, intervêm interlocutores como o dono de obra / investidor, os projetistas, os construtores e as empresas de manutenção dos edifícios. Isto por si só demonstra a necessidade de haver uma plataforma comum de comunicação nas diferentes vertentes, de forma a eliminar desperdícios, quer de tempo, quer de interpretação e a minorar os custos bem como os conflitos.

Na ótica da construção, tanto os donos de obra e/ou investidores como os construtores, têm procurado métodos e metodologias que melhor compreendam o planeamento de todo o processo atrás descrito e que permitam acompanhar os diferentes passos desde a fase embrionária do estudo de viabilidade, passando pela fase de projeto, orçamentação e construção, até à fase de manutenção ao longo da vida útil do seu investimento.

As metodologias tradicionais, são normalmente um conjunto solto e desgarrado de *software* ou processos não interligados baseados na experiência prática de cada um dos intervenientes,

o que leva a uma enorme dificuldade de controlo integrado dos inúmeros processos envolvidos e mesmo da gestão do empreendimento.

O processo BIM (*Building Information Modeling*), torna-se assim a resposta a esta problemática, uma vez que este permite congrega todos os passos do desenvolvimento de um empreendimento de uma forma colaborativa integrada e de fácil acesso e controlo.

Segundo NBIMS (*National Building Information Modeling Standard*) o conceito BIM, tal como o próprio nome indica, representa a integração transversal de todas as informações envolvidas no processo da construção, que são armazenadas e aplicadas (nas alterações) ao longo do ciclo de vida das instalações.

As informações são trocadas de uma forma organizada e eficiente com recurso a novas tecnologias em formato aberto e interoperável, proporcionando uma modelação funcional e física, e suporte a processos e operações. (NIBS, 2008)

## **1.2 Âmbito e Objetivos**

A presente dissertação tem como principal objetivo dotar a cadeia de intervenientes numa empreitada, com principal enfoque nos gestores de obra, de ferramentas de gestão, que controlem o tempo e o custo ao longo da construção através do BIM.

No alcance do objetivo principal da dissertação efetuar-se-á criação de um modelo completo integrado num vídeo 4D, com o planeamento e o controlo dos custos, comparação do planeamento com custos e prazos reais de obra, para geração de um modelo de colorido e modelação de elementos paramétricos, com a finalidade de criar uma biblioteca de informação, que posteriormente poderá ser aplicada a projetos reais.

## **1.3 Organização da Dissertação**

A estrutura da presente dissertação divide-se em seis capítulos, dos quais se apresenta sucintamente as principais temáticas a abordar em cada um deles.



O presente **capítulo 1** é dedicado à introdução, onde é feito o enquadramento do tema, apresentada a definição do âmbito e objetivos a atingir e a respetiva organização da dissertação.

No **capítulo 2**, apresenta-se o estado da arte da gestão da construção, do BIM e por fim a integração destas duas temáticas “BIM na gestão da construção”.

O **capítulo 3** consiste na modelação 3D de um modelo completo aplicado a um caso prático (Edifício de serviços de saúde), de forma a permitir, entre outros, a criação de modelos de vista, a deteção de incompatibilidades e respetiva coordenação e correção.

No **Capítulo 4** desenvolve-se o faseamento construtivo BIM 4D e 5D do Edifício, apresentando-se uma animação em vídeo 4D.

O **Capítulo 5** é composto pela análise de gestão EVM e respetiva interligação com o faseamento construtivo 4D e 5D.

Finalmente, no **capítulo 6** são apresentas as conclusões gerais, limitações e desenvolvimentos futuros.



## CAPÍTULO 2

### 2 ESTADO DA ARTE

#### 2.1 Gestão da Construção

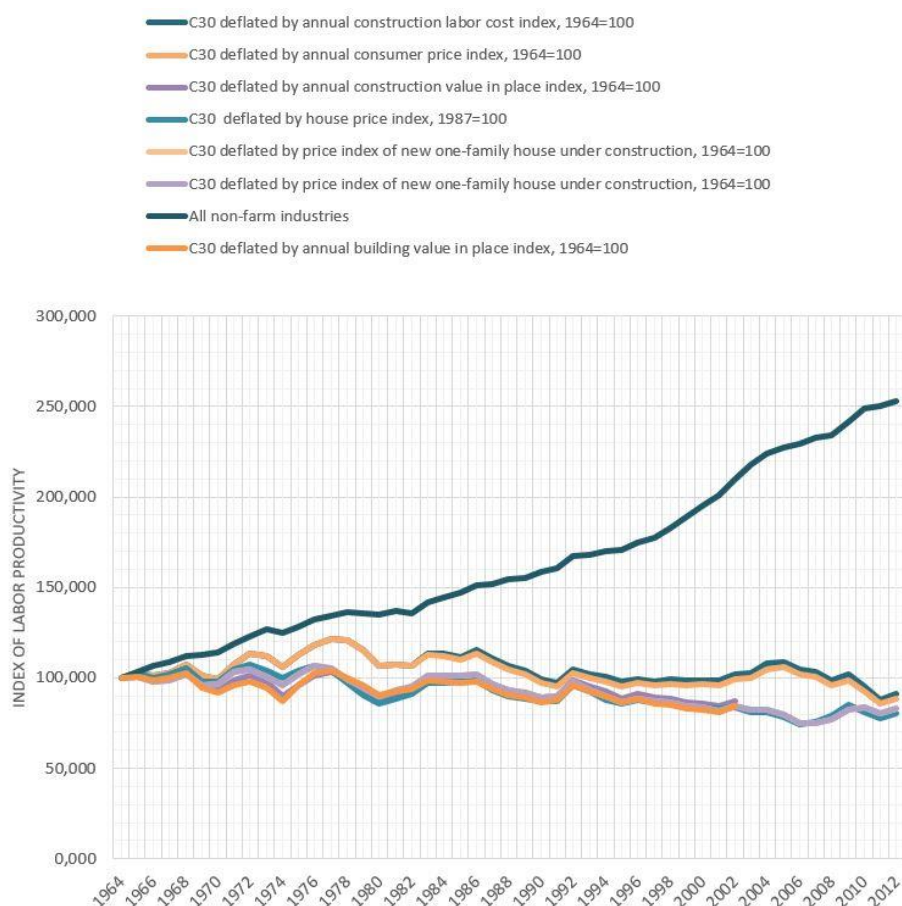
Atualmente, a indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) enfrenta mudanças e novos desafios, desde a ordem tecnológica até às preocupações energéticas e procura de uma cada vez maior capacidade de produtividade (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012) associada a uma continua e crescente redução de desperdício e de custos.

A competitividade no setor é outra razão das mudanças que se vivem, a necessidade de produzir mais, melhor e em menos tempo são um novo desafio para as empresas do setor que queiram sobreviver no mercado (ndBIM Virtual Building, 2014).

Segundo vários autores (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011; Monteiro, Mêda, & Martins, 2014; Teicholz, 2013), a indústria da construção é caracterizada por ser diversificada em vários domínios, comparativamente com outras atividades industriais.

O maior indicador desta realidade é a relação tempo/custo/dimensão entre o projeto, a execução e a entrega final do produto. Ao contrário das indústrias não-agrícolas, que incorporam a produção em série de produtos de pequena a média dimensão, a indústria da AEC é caracterizada por um produto único, não propenso a produção em massa e a processos contínuos e repetitivos (Monteiro et al., 2014; Teicholz, 2013).

Um estudo feito por Teicholz mostra que a produtividade da indústria AEC tem recaído enquanto que as restantes indústrias têm duplicado a sua produção, desde as décadas de 1964 a 2012, tal como se pode identificar no gráfico da Figura 1, em que a curva a azul escuro refere-se às indústrias não agrícolas.



**Figura 1** – Produtividade das indústrias não-agrícolas desde 1964 a 2012 (Teicholz, 2013)

Uma boa gestão implica um conhecimento o mais aproximado e rigoroso possível dos custos de obra a realizar no cumprimento do projeto desenvolvido. O acompanhamento financeiro das obras permitirá atuar no momento, com vista a corrigir desvios ou aumentar ganhos (APM, 2012; PMI, 2004).

A *Association for Project Management* (APM) define a gestão de projeto pela aplicação de processos, métodos, conhecimentos, competências e experiências no alcance dos objetivos de projeto (APM, 2012).

O PMI (*Project Management Institute*) considera que a gestão de um projeto é realizada pela integração de processos de iniciar, planejar, executar, monitorizar e controlar e encerrar. O gestor de projeto é o responsável pelo cumprimento dos objetivos de projeto (PMI, 2004).

O PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) descreve os processos de gestão de projetos acima introduzidos (PMI, 2004) da seguinte forma:

- Processo de iniciação: define e autoriza o projeto.
- Processo de planeamento: define e refina os objetivos e planeia as atividades requeridas para o alcance desses objetivos e do âmbito a que projeto se destina a cumprir.
- Processo de execução: dirige e coordena os recursos humanos, materiais e financeiros para realizar o planeamento da gestão de projeto.
- Processo de controlo e monitorização: mede regularmente e monitoriza o progresso de modo a identificar variações do planeamento do projeto e atuando como uma medida corretiva sempre que seja necessária no cumprir dos objetivos de projeto.
- Processo de encerramento: formaliza a aceitação do projeto ou fase e procede ao seu encerramento de forma organizada.

## 2.2 Métodos e Indicadores de Gestão: *Earned Value Management (EVM)*

A obtenção de *Feedback* torna-se relevante no sucesso de um projeto. A gestão dessa informação atempadamente e de forma orientada permite ao gestor de projeto identificar, antecipar problemas e fazer ajustes que mantenham o projeto dentro dos prazos e custos estipulados (PMI, 2005).

O EVM (*Earned Value Management*), também designado de Gestão do Valor Agregado trata-se de uma metodologia de gestão que integra o meio, o cronograma e os recursos, e compara, no tempo e custo, onde o empreendimento se encontra e onde era suposto que se encontrasse, possibilitando aos gestores de projeto aplicar o ciclo *plan-do-check-act* (PMI, 2000, 2011).

*Vanhoucke*, complementa o EVM como metodologia usada para medir e comunicar o progresso físico de um projeto integrando-o num sistema único de gestão e controlo. Este sistema tem em consideração o trabalho completo, o tempo percorrido e os custos incorridos para concluir o projeto e ajuda a avaliar e controlar os riscos pela medição do progresso do projeto em termos monetários (Vanhoucke, 2014).

Este método fornece um sistema de gestão que permite a monitorização integrada, de custos e prazos, que com base em indicadores de desempenho, mede o estado do projeto e estima a

sua conclusão, podendo responder a perguntas críticas no sucesso de qualquer projeto (PMI, 2005):

- O projeto está adiantado ou atrasado?
- O cronograma está a ser cumprido de uma forma eficiente?
- Qual é a data prevista de conclusão do projeto?
- O projeto está acima ou abaixo do orçamento?
- Quanto irá custar os restantes trabalhos?
- Qual será a previsão do custo final do projeto?
- Na data de conclusão, o projeto irá estar acima ou abaixo do orçamento?
- Que fator está a provocar variações significativas de custo e/ou do cronograma?

O método EVM baseia-se essencialmente em três métricas de medição: **(1)** o valor do orçamento planeado (*Planned value*); **(2)** o valor orçamentado para os trabalhos realizados (*Earned Value*); e **(3)** o custo real dos trabalhos realizados (*Actual Cost*).

O PV (*Planned Value*) ou BCWS (*Budgeted Cost of Work Schedule*), em português designado por Custo Orçamentado dos Trabalhos Planeados, é o valor orçamentado acumulado para os trabalhos planeados, desde o início até ao fim do projeto. Consiste numa reflexão numérica do trabalho orçamentado planeado que é para ser realizado, em qualquer instante de tempo e estabelece a *baseline* de projeto, também designada de PMB (*Performance Measurement Baseline*).

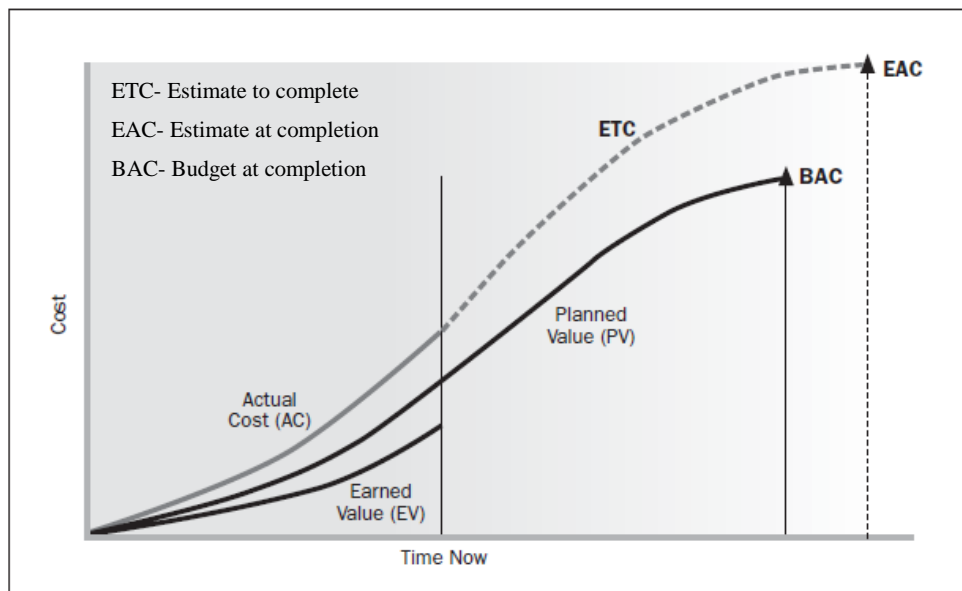
Assim o PV serve como base de comparação aos custos dos trabalhos realizados (EV), e regista ao longo do projeto quanto trabalho deveria ser feito para cada ponto do planeamento (PMI, 2005).

O EV (*Earned Value*) ou BCWP (*Budgeted Cost of Work Performed*), é o custo orçamentado dos trabalhos realizados para um determinado instante do plano base.

Este valor reflete a quantidade de trabalho que foi feito até a data (ou num determinado instante estudado), expresso como o valor planeado para esse trabalho, medido em comparação ao orçamento planeado PV (PMI, 2005).

Por fim, o AC (*Actual Cost*) ou ACWP (*Actual Cost of Work Performed*), é o custo real dos trabalhos realizados, ou seja, o que efetivamente foi gasto com esses trabalhos.

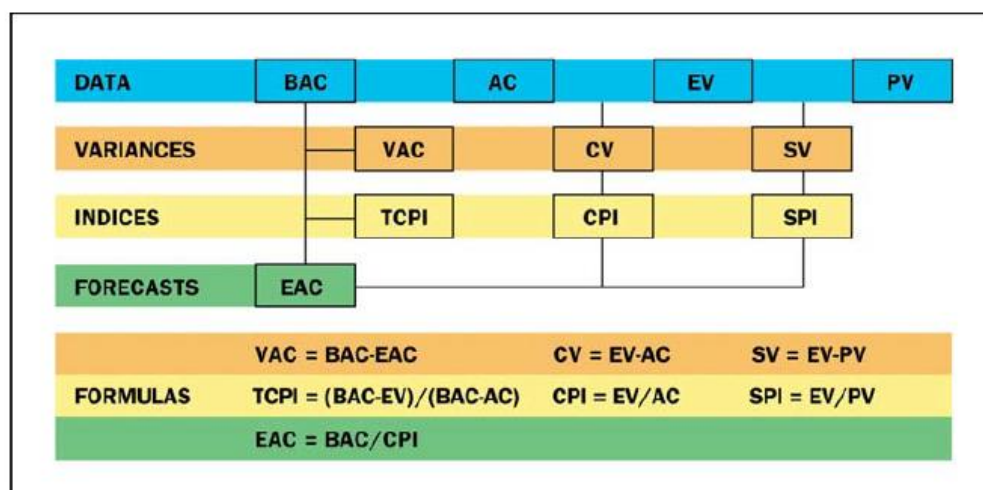
Estas três métricas podem ser representadas e interpretadas com base no gráfico genérico da Figura 2, sendo o PV, EV e o AC representados por três curvas tipo-S, e medidos como referido a partir de uma data de estado (*status date*).



**Figura 2** – Gráfico-tipo EVM (PMI, 2011)

### 2.2.1 Análises de desempenho e de previsão

Com base nas três métricas (PV, EV e AC) e na introdução de uma quarta componente denominada de BAC (*Budget at completion*), cuja tradução significa “orçamento total previsto na conclusão de um projeto”, obtêm-se os desvios/variações, índices de medição e previsões (ver Figura 3).



**Figura 3** – Relações entre os medidores EVM de performance, (PMI, 2005)

Legenda da Figura 3:

BAC – Budget at Completion; AC - Actual Cost; EV – Earned Value; PV – Planned Value;  
 VAC – Variance at Completion; CV – Cost Variance; SV – Schedule Variance;  
 TPCI – To-complete Performance Index; CPI – Cost Performance Index; SPI – Schedule Performance Index;  
 EAC – Estimate at Completion

Nesta dissertação serão avaliados os vários indicadores EVM com base no guia “*Practice Standard for Earned Value Management*” e na 2ª Edição deste guia prático da PMI, distribuindo-se em três grupos de indicadores (PMI, 2005):

- A. **Variações:** A SV (*Schedule Variance*) ou variação do cronograma, a CV (*Cost Variance*) ou variações de custo, e a VAC (*Variance at Completion*) ou, em português, variação na conclusão do projeto.
- B. **Índices:** O SPI (*Schedule Performance Index*) ou em português índice de desempenho do cronograma, o CPI (*Cost Performance Index*) ou índice do desempenho de custo e, por fim, o índice TPCI (*To-complete Performance Index*), que é o índice de desempenho para a conclusão.
- C. **Previsões:** composto pela EACt (*Time Estimate at Completion*), em português estimativa de tempo na conclusão, EAC (*Estimate at Completion*) ou estimativa na conclusão, e ETC (*Estimate to Complete*) em português Estimativa para conclusão.



Estes indicadores, como referido no enquadramento deste subtópico, permitem responder a perguntas críticas na gestão de projeto, resumidas na Tabela 1, adaptada e traduzida do guia PMI de 2005 (PMI, 2005).

**Tabela 1-** Questões na gestão de projetos e respetivos indicadores EVM (PMI, 2005)

Questões na Gestão de Projetos	Indicadores de Performance EVM
<b>Como está a decorrer o projeto em termos de prazos?</b>	<b>Análises de desempenho e previsão do cronograma</b>
O projeto está adiantado ou atrasado?	<i>Schedule Variance (SV)</i>
O cronograma está a ser cumprido de uma forma eficiente?	<i>Schedule Performance Index (SPI)</i>
Qual é a data prevista de conclusão do projeto?	<i>Time Estimate at Completion (EACt)</i>
<b>Como está a decorrer o projeto em termos de custos?</b>	<b>Análises do desempenho e previsão de custo</b>
O projeto está acima ou abaixo do orçamento?	<i>Cost Variance (CV)</i>
Os recursos estão a ser usados de uma forma eficiente?	<i>Cost Performance Index (CPI)</i>
De que forma devem ser geridos os restantes recursos?	<i>To-complete Performance Index (TCPI)</i>
Qual será a previsão do custo final do projeto?	<i>Estimate at Completion (EAC)</i>
Na data de conclusão, o projeto irá estar acima ou abaixo do orçamento?	<i>Variance at Completion (VAC)</i>
Quanto irá custar os restantes trabalhos?	<i>Estimate to Complete (ETC)</i>

### 2.2.1.1 Análises do desempenho e previsão do tempo

As análises de desempenho e previsão quanto ao tempo de projeto podem dividir-se em três tipos de indicadores:

- *SV (Schedule Variance)*;
- *SPI (Schedule Performance Index)*;
- *EACt (Time Estimate at Completion)*.

A SV é obtida pela diferença entre o EV e o PV (PMI, 2000) representada pela equação (1). Esta variação representa o desvio de prazos, se o projeto se encontra atrasado, adiantado ou no tempo face ao planeado. E permite responder à questão presente na Tabela 1 “O projeto está atrasado ou adiantado relativamente ao planeado?”, em que o resultado de um valor positivo indica que o projeto se encontra numa posição favorável, caso contrário, se resultar um valor negativo encontra-se abaixo das expectativas (atrasado).

$$SV = EV - PV \quad (1)$$

O desvio dos prazos pode também ser apresentado sob a forma de percentagem, pela divisão do SV pelo PV (ver fórmula).

$$SV(\%) = \frac{SV}{PV} \quad (1.1)$$

O segundo indicador de desempenho de tempo, a SPI mede o nível de eficácia no uso do tempo com que se está a executar os trabalhos e é obtida pela divisão do EV pelo PV (ver equação (2)).

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (2)$$

Os valores do SPI podem ser maiores, menores ou iguais a 1, em que SPI=1 significa que o trabalho realizado foi igual em relação ao planeado.

O EACt, é o último indicador (de previsão) do tempo (ou do cronograma), e é facilmente obtido pelo uso do SPI e do PV por unidade de tempo (ver equação (3)). Este indicador permite responder à questão 3 da Tabela 1: “Qual é a data prevista de conclusão do projeto?”.

$$EACt = \frac{\frac{BAC}{SPI}}{\frac{BAC}{n^{\circ} \text{ estimado de meses}}} \quad (3)$$

#### **2.2.1.2 Análises do desempenho e previsão de custo**

Os restantes indicadores EVM que se seguem permitem analisar o desempenho e prever os custos.

Em primeiro lugar importa calcular o indicador CV (*Cost Variance*), que dará uma noção rápida do estado do orçamento (acima ou abaixo do planeado).

Este indicador obtém-se pela diferença entre o EV e o AC (PMI, 2000) representando o desvio de custos pela equação (4). Tal como no SV, um valor negativo indica uma situação não favorável e um valor positivo, uma situação favorável em que o projeto se encontra abaixo do orçamento.

$$CV = EV - AC \quad (4)$$

A percentagem do CV é calculada da seguinte forma:

$$CV(\%) = \frac{CV}{EV} \quad (4.1)$$

O índice de desempenho CPI determina o nível de eficácia na utilização dos recursos (“O projeto está acima ou abaixo do orçamento?”), sendo considerado um dos índices mais claros na medição dos custos acumulados de um projeto e é dado pela divisão do EV pelo AV (PMI, 2005).

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (5)$$

O indicador TCPI (*To-complete Performance Index*) trata-se também de um indicador do tipo índice e dá resposta à questão 6 da Tabela 1: “De que forma devem ser geridos os restantes recursos?”. Assim a equipa projetista consegue saber de que forma deve gerir os restantes recursos de modo a cumprir uma meta prevista, como por exemplo o BAC ou EAC, caso já tivesse sido revisto pela equipa projetista.

No caso de se pretender cumprir com o BAC (custos planeados para a conclusão do projeto do PV), o TCPI determina-se da seguinte forma (ver equação (6)):

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AV} \quad (6)$$

O EAC (*Estimate at Completion*), determina o custo final do projeto se a performance se mantiver (PMI, 2005) respondendo à questão 7 da Tabela 1 “Qual irá ser a previsão do custo final do projeto?”.

O EAC tipicamente baseia-se no custo atual do trabalho realizado (AC), mais o ETC (*Estimate to complete*) para o trabalho restante (ver equação (7)). No entanto, podem ser considerados dois métodos distintos na determinação do EAC: o método analítico (7) e o estatístico (PMI, 2011).

$$EAC = AC + ETC \quad (7)$$

A abordagem estatística utiliza dados EVM para projetar um EAC independente, também designado de IEAC, uma vez que é independente de qualquer projeto ou condições ambientais. Trata-se apenas de uma projeção futura do projeto com base em dados do passado. Este IEAC é independente de ações de intervenção humana, nomeadamente em ações corretivas e avaliação do risco, apesar de ser considerada uma boa validação e comparação do EAC, não deve ser considerado como o EAC formal para projeto (PMI, 2011).

O valor estatístico do EAC é determinado pela equação (8). Nota-se que neste caso não há qualquer relação do ETC, e por isso deve ser meramente usado como comparação ao cálculo analítico.

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} \quad (8)$$

Outro indicador de variação, VAC (*Variance at Completion*), consiste no desvio entre o custo orçamentado para conclusão (BAC) e o custo estimado para a conclusão do projeto (EAC), como representado na equação (9). Na data de conclusão do projeto permitirá responder a questão 8 da Tabela 1: “O projeto irá estar acima ou abaixo do orçamento?”

$$VAC = BAC - EAC \quad (9)$$

A percentagem do VAC calcula-se da seguinte maneira:

$$VAC(\%) = \frac{VAC}{BAC} \quad (9.1)$$

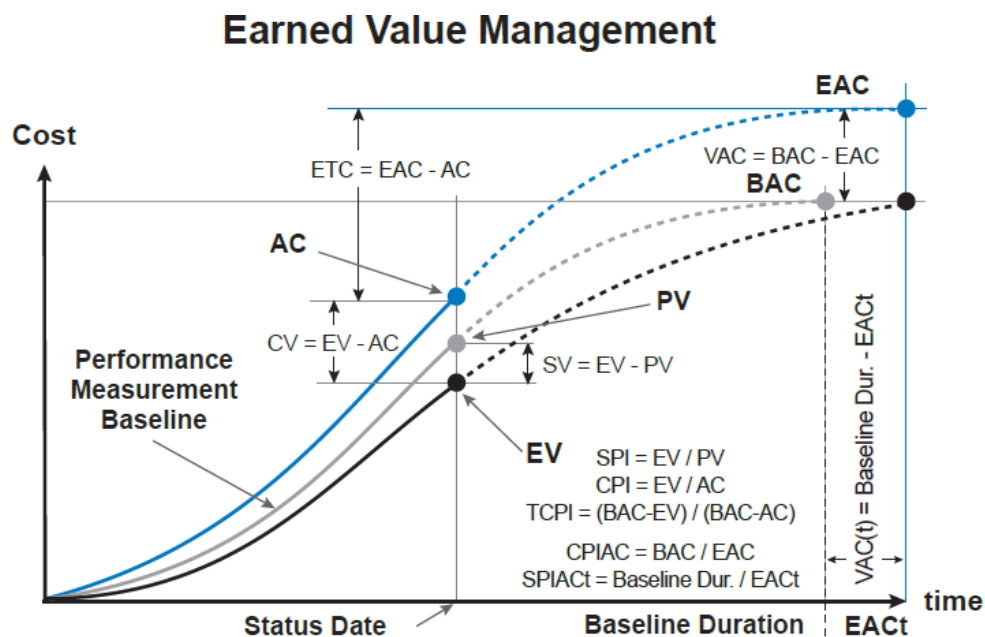
Finalmente, o último indicador de custo (ETC), responde à questão 10 da Tabela 1: “Quanto irá custar os restantes trabalhos?”. Para determinar o ETC existem duas formas distintas, que mostram quanto o restante trabalho custará. O método mais preciso consiste em desenvolver uma nova estimativa *bottom-up* baseada na análise dos trabalhos restantes (*management ETC*). Este valor é obtido pelo AC para derivar o *management EAC* do custo total do projeto na sua conclusão (ver equação (11)).

$$EAC = AC + ETC \quad (10)$$

Como verificador das estimativas de gestão, as organizações podem usar um valor calculado para o ETC (*calculated ETC*) baseado na eficiência do projeto dada pelo CPI. Este ETC permite determinar o valor calculado da EAC (*calculated EAC* ou EAC analítica) presente acima, que será novamente comparado ao EAC de estimativa.

$$ETC = \frac{BAC - EV}{CPI} \quad (11)$$

O gráfico da Figura 4 permite representar as relações dos vários indicadores apresentados e dar informação das equações de cálculo, assim como a sua representação gráfica. Segue-se na Figura 4 o gráfico-tipo EVM de um projeto.



**Figura 4** – Representação gráfica dos indicadores EVM (Ambriz & Landa, 2015)

O *Project Management Institute* estabeleceu uma tabela de cores que indicam pela interpretação dos quatro principais indicadores EVM (SV, CV, SPI e CPI), o estado do projeto, no tempo e custo (PMI, 2005). A Tabela 2 adaptada do PMI representa essas relações e as respetivas cores identificativas do projeto.

**Tabela 2** – Interpretações das medidas do desempenho EVM, (N. Sousa, 2008)

	SV > 0 & SPI > 1	SV = 0 & SPI = 1	SV < 0 & SPI < 1
CV > 0 & CPI > 1	Projecto adiantado Abaixo do orçamento	Projecto no prazo Abaixo do orçamento	Projecto atrasado Abaixo do orçamento
CV = 0 & CPI = 1	Projecto adiantado Igual ao orçamento	Projecto no prazo Igual ao orçamento	Projecto atrasado Igual ao orçamento
CV < 0 & CPI < 1	Projecto adiantado Acima do orçamento	Projecto no prazo Acima do orçamento	Projecto atrasado Acima do orçamento

### 2.2.2 Métodos do planeamento da construção

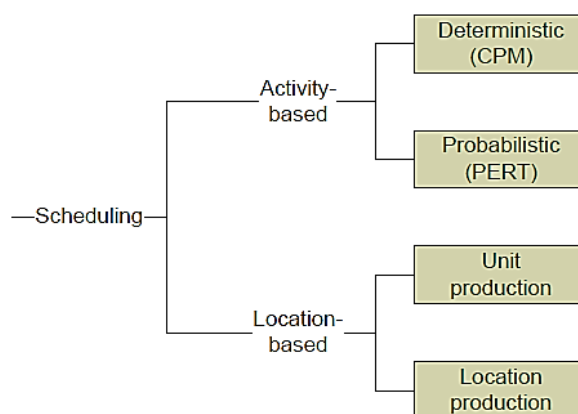
O planeamento é uma tarefa manual, intensiva, propensa a erro humano e usualmente cria dificuldades de interpretação aos intervenientes na obra.

O processo atual de planeamento ilustra a desagregação das atividades da construção com base num articulado associado a uma escala temporal de modo a retratar o fluxo real dos trabalhos da construção, não considerando deste modo, os ritmos de produção e as condições necessárias a assegurar na passagem entre as atividades (Jongeling & Olofsson, 2007a).

O planeamento da construção categoriza-se em dois tipos/grupos principais: (1) o planeamento baseado nas atividades e (2) o planeamento baseado nas localizações (Kenley & Seppänen, 2010), tal como se pode visualizar na Figura 5.

No planeamento baseado nas atividades (planeamento tipicamente usado nos últimos anos no sector da construção) identificam-se os métodos: (1) de barras CPM e o (2) probabilístico PERT.

Por sua vez, no planeamento baseado nas localizações (*location-based*) compreende-se os métodos de unidade de produção e o de produção por localizações, ver Figura 5.

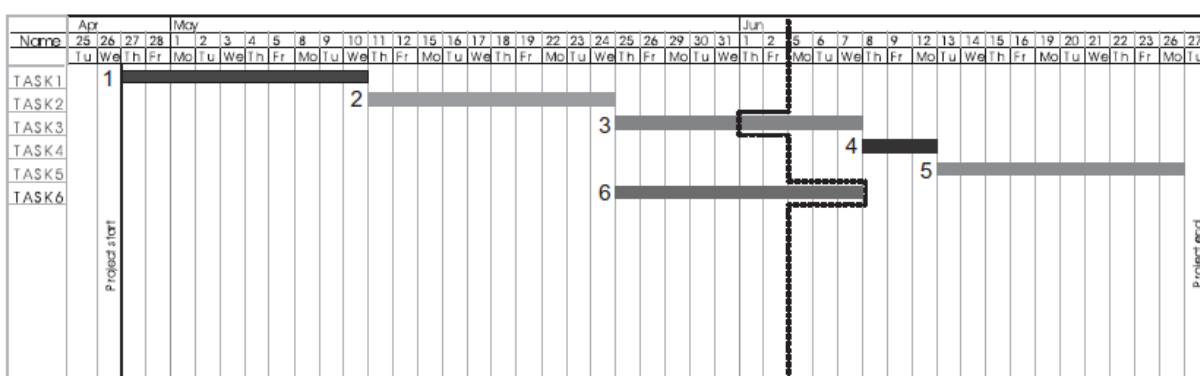


**Figura 5** – Tipologia dos métodos de planeamento da construção (Kenley & Seppänen, 2010)

Em torno destas metodologias existem vários métodos e técnicas, contudo são associadas a dois principais métodos de planeamento, que são utilizados para alcançar os mesmos objetivos de maneiras diferentes: (1) o CPM e (2) a Linha-de-Balanco ou também conhecida por *flowline* (Kenley & Seppänen, 2010).

- **CPM (Critical Path Method)**

Nas últimas décadas, o método mais utilizado na elaboração do planeamento tem sido o do caminho crítico CPM (*Critical Path Method*) materializado em gráficos de barras (Gantt), (Jongeling & Olofsson, 2007a; H. Sousa & Monteiro, 2011), ver Figura 6.



**Figura 6** – Gráfico de barras - Gantt (Kenley & Seppänen, 2010)

O CPM é uma técnica comum, baseada na relação das atividades de construção, que tem por objetivo a criação de um plano de trabalhos assentes na definição e controlo das durações das tarefas do articulado (Baptista, 2015; Faria, 2013).

Trata-se de um simples processo de encadeamento de atividades, onde é estabelecida a sucessão lógica e especificadas as relações de dependência entre as atividades num gráfico de barras cuja unidade de medida é simplesmente o tempo (H. Sousa & Monteiro, 2011).

Os gráficos de *Gantt* são atualmente o padrão da indústria na representação das atividades que permitem uma leitura fácil e direta (H. Sousa & Monteiro, 2011), tornando o processo de planeamento mais rápido em relação ao processo manual do planeamento dessas atividades (Couto, 2013).

Algumas ferramentas têm sido usadas na construção no cronograma tipo *Gantt*, de forma a facilitar este processo, como o *Microsoft Project*, Primavera *Sure Trak* ou P3 (Eastman et al., 2011). Nesta dissertação apenas se irá abordar o MS Project como ferramenta de trabalho no planeamento da construção. O Microsoft Project é uma ferramenta que se destina a auxiliar a gestão do projeto, para o planeamento abordando os princípios do CPM, para a execução (pela introdução das tarefas executadas) e para o controlo realizado através de relatórios de gestão (Cortal, 2015).

O processo de planeamento foca-se sobretudo na divisão progressiva das atividades, sendo o fluxo de trabalho (*workflow*) e a gestão dos ritmos de produção e as condições necessárias para assegurar na passagem entre as atividades pressupostos tidos como garantidos (Jongeling & Olofsson, 2007a), ou seja, o método toma o pressuposto de que a desagregação das atividades da construção com base num articulado associadas a uma escala temporal reflete o fluxo real dos trabalhos da construção (Ballard & Howell, 2003).

O processo de conceção de um CPM baseia-se primeiramente nos elementos da construção, sendo as atividades planeadas de acordo com os trabalhos de execução ligados a elementos (como por exemplo: betão armado em pilares) e só depois os projetistas olham para a planta (desenhos 2D) para analisar a distribuição do trabalho por todo o edifício, perdendo-se desde logo dinâmicas favoráveis à identificação de erros ou de oportunidades de otimização (Kenley & Seppänen, 2010).

A integração de um CPM detalhado aos desenhos 2D tem algumas complicações na medida em que:



- É limitada na possibilidade de identificar oportunidades;
- De difícil sequenciamento;
- As interpretações pelos vários membros de projeto podem ser inconsistentes/insuficientes quando analisam o planeamento CPM com as plantas 2D, dificultando a comunicação entre os vários participantes de projeto.

No artigo sobre a Linha de Balanço de Hipólito de Sousa e André Monteiro refere-se a estes métodos como omissos na representação das localizações, na representação da continuidade das tarefas, na visualização de dependências, na otimização do programa, na movimentação das equipas e na perceção completa da obra (H. Sousa & Monteiro, 2011).

As equipas de preparação de obra necessitam de um planeamento contínuo e fiável dos recursos sob diferentes localizações na construção, ao longo do tempo. Este fluxo dos recursos por localizações, ou *workflow*, e a capacidade resultante no controlo do produto da construção entre as várias localizações e equipas de trabalho fortalece a gestão da construção na perspetiva do dia-a-dia na gestão das atividades. (Jongeling & Olofsson, 2007a)

- **LOB (Line Of Balance)**

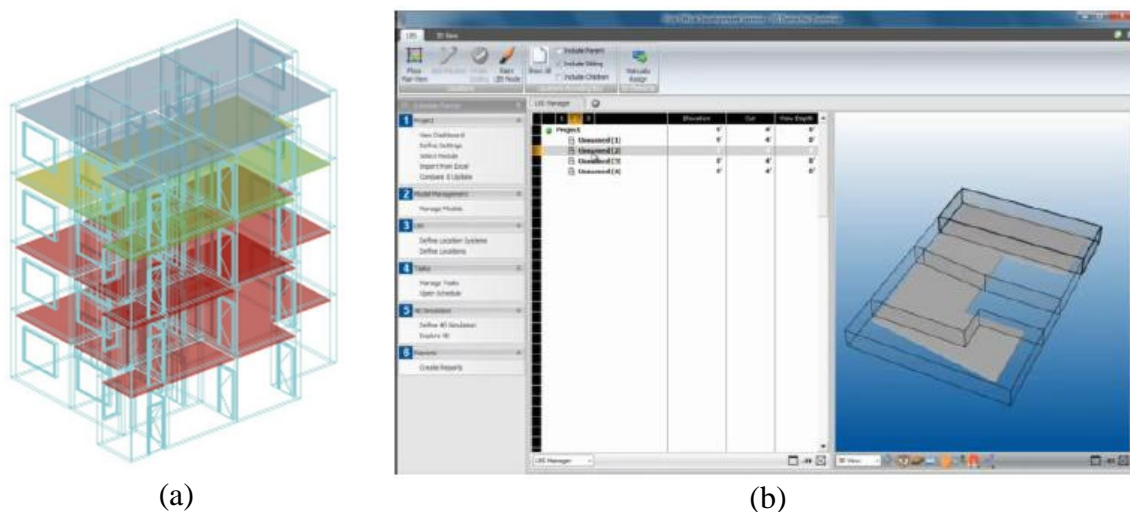
A Linha de Balanço ou LOB (*Line Of Balance*), surge como uma técnica baseada nas localizações, que procura dar resposta a necessidade de métodos de planeamento e controlo de produção mais flexíveis que os tradicionais (H. Sousa & Monteiro, 2011).

É um método gráfico de calendarização através da utilização de diagramas de linhas para representar os diferentes tipos de atividades, as várias equipas de trabalho em diferentes localizações (Seppänen & Kankainen, 2004).

Esta abordagem LOB tem como ponto forte a aproximação à evolução real do fluxo de trabalho numa cadeia de produção na construção. Isto é, o fluxo de recursos através das localizações e a capacidade de controlar a passagem entre as atividades por localização. Permite conhecer de forma detalhada onde as equipas se localizam a dada altura, otimizando consideravelmente a gestão da construção (Kenley, 2004).

O *workflow* da aplicação LOB inicia-se pela divisão do projeto em localizações, e de seguida a pela divisão das atividades de construção em tarefas mais detalhadas. A divisão do projeto é normalmente feita por pisos (Figura 7- (a)), mas poderá ser dividida à escolha do utilizador, não havendo um critério definido na sua divisão. O nível de detalhe pode chegar à divisão de um elemento numa série de subelementos (ver - (b)).

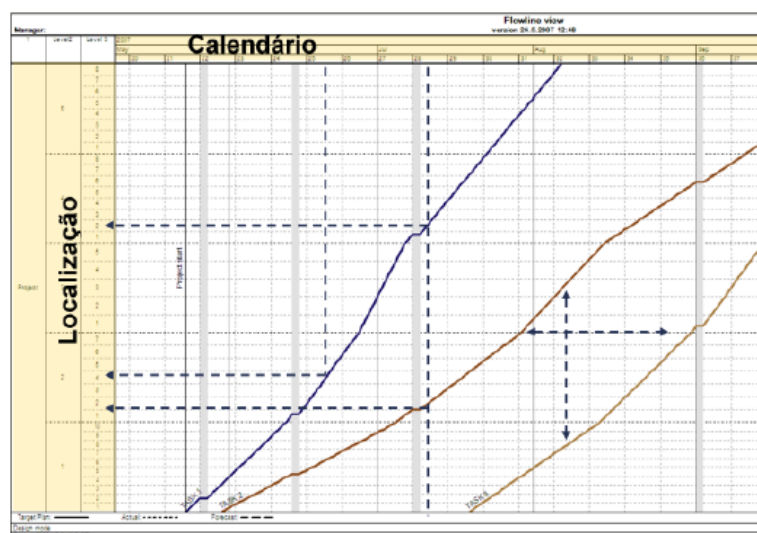
A divisão do projeto é uma das maiores dificuldades deste tipo de método, uma vez que a configuração espacial é única para cada tipo de projeto, sendo suscetível a diferentes interpretações. (Akbas, 2004)



**Figura 7 – (a) Divisão por pisos; (b) divisão por zonas em planta (H. Sousa & Monteiro, 2011)**

Este método de planeamento combina técnicas de matemática e gráficas, focadas na unidade de produção por unidade de tempo (Rodriguez Martinez, 2013).

Um diagrama de linha de Balanço é um gráfico onde o eixo das abcissas (x) representa a escala temporal ou o calendário/cronograma e o eixo das ordenadas (y) as localizações. As linhas traçadas representam as atividades em função das duas variáveis (x,y) em que a sua inclinação representa o ritmo de produção ou produtividade (ver Figura 8).



**Figura 8** – Gráfico de Linha de Balanço, (H. Sousa & Monteiro, 2011).

.A grande utilidade do método da Linha de Balanço consta na possibilidade de otimização do planeamento, de uma forma organizada, simples eficaz.

### 2.3 Building Information Modeling (BIM)

BIM (*Building Information Modeling*) é uma das recentes tecnologias mais promissoras na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) (Azhar, 2011; Eastman et al., 2011).

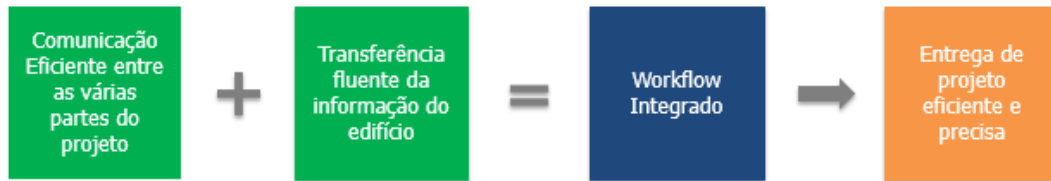
Segundo (Eastman et al., 2011) num modelo BIM, um ou mais modelos virtuais de um edifício são produzidos digitalmente servindo de suporte ao projeto durante as diferentes fases, permitindo assim uma melhor análise e controlo comparado aos processos manuais/tradicionais.

Quando completo, o modelo contém uma geometria rigorosa do edifício e dados importantes para construção, fabricação, e comercialização no acompanhamento do empreendimento.

Os modelos BIM contêm além de uma geometria paramétrica precisa, dados, funções e informações necessárias no uso do ciclo de vida de um edifício, que pela sua introdução, fornecem bases para um novo modo de projeto, novas maneiras de construir e mudanças na forma como a equipa projetista se relaciona.

O BIM permite assim a integração do projeto e da construção a iniciar na mesma fase de trabalho, numa melhor qualidade dos edifícios reduzindo os custos e a duração dos projetos.

Estas novas maneiras de pensar e de agir juntamente com modelos colaborativos BIM conduz a uma comunicação eficiente entre as várias partes do projeto que juntamente com uma fluente transferência da informação do edifício permitem um *workflow* integrado e uma entrega de projeto preciso e eficiente, tal como se traduz pela Figura 9 (Tekla, 2016).



**Figura 9** - Processo de trabalho (workflow) BIM, adaptada de (Tekla, 2016)

Resumidamente, os modelos BIM trazem:

- Mudanças na forma como a equipa projetista se relaciona;
- Integração das fases de projeto e de construção;
- Otimização da construção;
- Redução os custos e a duração dos projetos.

A Figura 10 exemplifica um ambiente de trabalho colaborativo em BIM em que os intervenientes se guiam pelo modelo numa plataforma comum de visualização, de modo a reverem o processo da construção, a identificarem e resolverem potenciais problemas que surgem em obra (Hardin & McCool, 2015).

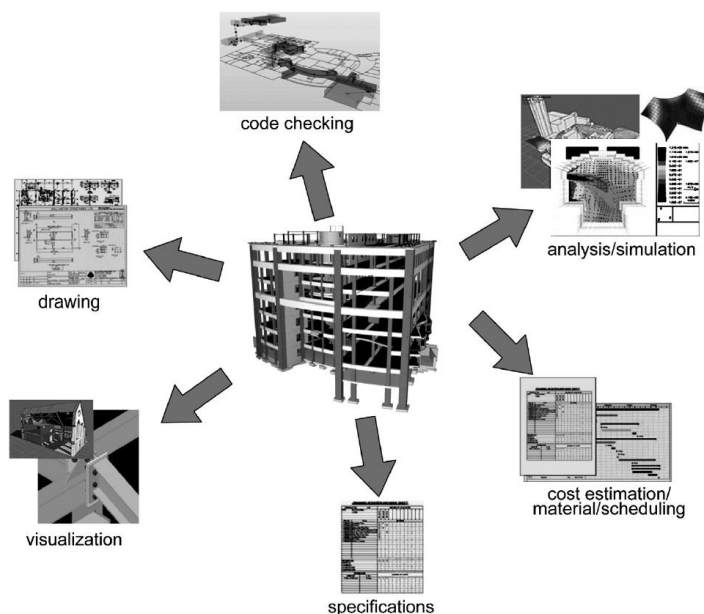


**Figura 10** – Ambiente de trabalho colaborativo BIM (Hardin & McCool, 2015)

Para a *Autodesk Inc*, o BIM consiste numa metodologia baseada num modelo 3D inteligente que integra a arquitetura, engenharia e profissionais de construção, com uma nova visão e ferramentas para melhor planear, projetar, construir e gerir os edifícios e infraestruturas (Autodesk, 2016).

A informação num modelo BIM encontra-se interligada por relações paramétricas, ou seja, as alterações são efetuadas em tempo real em todo o modelo, em que a alteração de uma componente atualize as restantes componentes do edifício. Evita-se deste modo a propagação de erros pela dinamização dos processos.

Além desta grande vantagem, os modelos BIM sustentam análises estruturais e energéticas do edifício, o planeamento do processo construtivo, análise de custos, entre outros, sendo o projeto e a construção de um edifício um trabalho de equipa que envolve diversas especialidades, assim temos presentes as potencialidades do BIM presentes na Figura 11 (Silva, 2013).



**Figura 11** – Potencialidades do BIM (Jeong, Eastman, Sacks, & Kaner, 2009)

### 2.3.1 Dimensões do BIM

O BIM divide-se em várias dimensões que o definem no acompanhamento do ciclo de vida de um empreendimento (ver Figura 12). As dimensões BIM são descritas de seguida:

- **Dimensão 3D – Modelação Paramétrica das condições reais existentes ou/e a construir**

A dimensão 3D consiste na modelação 3D paramétrica, que pode servir de base a visualização do edifício através de *renders* 3D do modelo, na produção de peças desenhadas automáticas de apoio à construção, à revisão de projetos (Azhar, 2011), no levantamento das condições reais existentes de um edifício ou implantação pela utilização das técnicas *laser-scanning*. O BIM 3D pode ainda ser usado para preparação e corte automático em pré-fabricação e para deteção de conflitos.

- **Dimensão 4D - Planeamento e Coordenação de tarefas**

Em adição ao BIM-3D, a dimensão BIM 4D consiste na atribuição da variável tempo ao modelo 3D, através de um cronograma (*US General Services Administration*, 2009), conduzindo a uma coordenação total do projeto, de todo o edifício (Zhyzhneuski & Babic, 2011).

Os modelos 4D trazem uma nova abordagem ao planeamento e controlo de obra, na qual se registam os seguintes benefícios na visualização dos projetos (H. J. Wang, Zhang, Chau, & Anson, 2004):

- ✓ Exploração de cenários “*what-if*” antes da execução de trabalhos (Jongeling & Olofsson, 2007b);
- ✓ Analisar e visualizar projetos como forma de apoio à decisão, na análise de viabilidade do projeto e nas operações da construção;
- ✓ Desenvolver estimativas e gerir recursos;
- ✓ Otimização logística e espacial do estaleiro;
- ✓ Formação de trabalhadores e planeadores inexperientes (H. Sousa & Monteiro, 2011).

Estes modelos BIM-4D permitem sequenciar a construção eficazmente, coordenando a ordem dos materiais, os processos de fabricação, e estipular prazos de entrega para todos os componentes do edifício (Azhar, 2011; Silva, 2013).

A dimensão 4D permite ainda ao construtor projetar e determinar onde as pessoas, trabalhadores, materiais e equipamentos, estarão e qual a sua duração no tempo e no espaço, e depois fazer o respetivo balizamento (Akinci, Fischer, & Kunz, 2002).

#### • **Dimensão 5D – Estimativa de Custos**

O conceito BIM-5D consiste na adição da função tempo e custo ao modelo tridimensional (Mubarak, 2015). A adição desta componente torna possível o cálculo e estimativa do custo da globalidade do investimento, assim como os custos parciais de projeto se necessário (Zhyzhneuski & Babic, 2011).

Nesta dimensão insere-se a modelação concetual e o planeamento de custos em tempo real, onde são extraídos automaticamente pelas ferramentas informáticas e atualizados quando haja alguma alteração ao modelo, podendo ser estudados vários cenários “*what-if*” de estimativas de custos detalhadas, de apoio/suporte à decisão sobre as várias soluções construtivas a escolher, acrescentando valor à Engenharia na entrega do seu produto (Azhar, 2011).

- **Dimensão 6D – Sustentabilidade do Edifício**

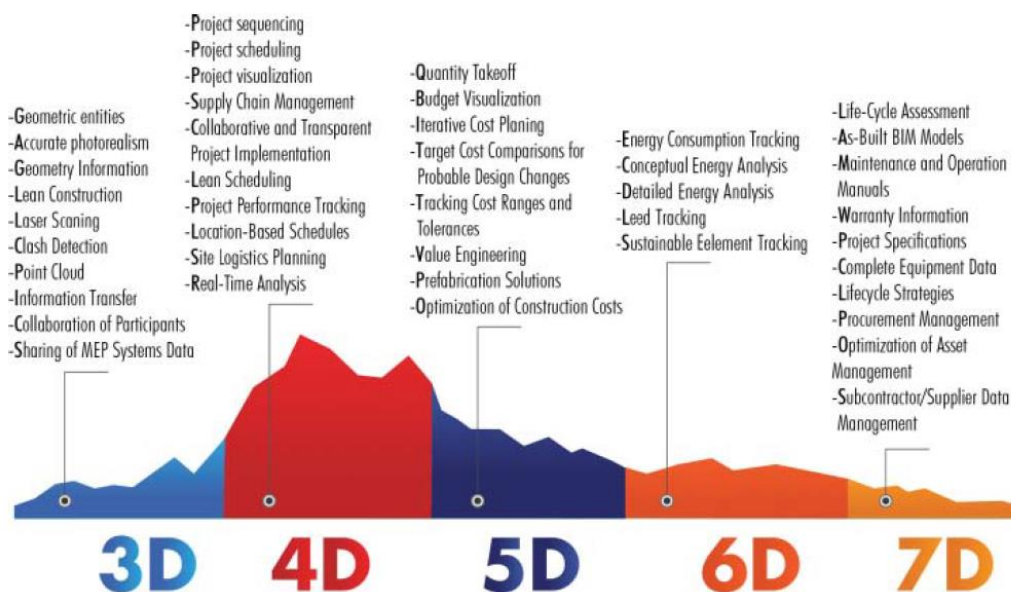
A dimensão seguinte, o BIM 6D, ocupa-se sobre os princípios de sustentabilidade do edifício (Yung & Wang, 2014), como as análises energéticas, em determinar o ciclo de vida e avaliar o impacto ambiental que este irá produzir.

- **Dimensão 7D – gestão das instalações (Utilização/Manutenção)**

Por última, a dimensão BIM 7D gere as instalações do edifício e serve de suporte técnico ao longo do ciclo de vida do edifício (McArthur, 2015).

No BIM 7D é possível criar um modelo “*as-built*” do edifício que servirá de base de dados sobre todos os elementos e instalações do empreendimento, para servir o utilizador e os técnicos de manutenção.

O BIM 7D destina-se essencialmente na fase de utilização e manutenção do edifício, na gestão das instalações. As dimensões BIM seguem-se resumidas na Figura 8.



**Figura 12 – Dimensões do BIM, (Mubarak, 2015).**

### 2.3.2 Processo Tradicional vs. Colaborativo BIM

Atualmente, o processo tradicional de entrega de documentos encontra-se fragmentado.



Os erros e omissões que surgem pela utilização de modelos tradicionais, de peças desenhadas e escritas em papel causam atrasos nas tomadas de decisões, o que implicam derrapagens dos custos, atrasos de tempo e eventuais problemas jurídicos entre as várias especialidades envolvidas no projeto.

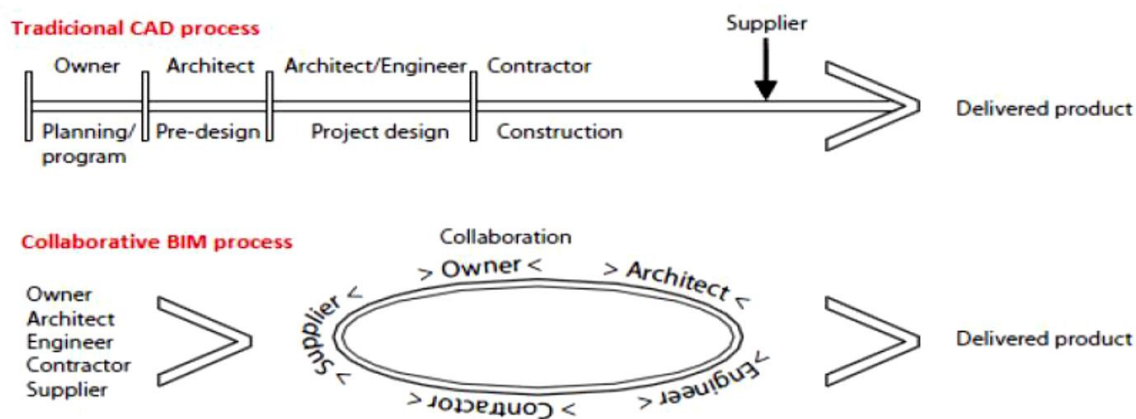
Um dos problemas associados à utilização de ficheiros CAD (*Computer Aided Design*) 2D durante a fase de projeto consiste na ausência das várias informações como, estimativas de custo, análises energéticas do uso do edifício, e detalhes/pormenores construtivos entre as especialidades que requerem um elevado consumo de tempo e custo associado.

Além da ausência das várias informações, estas análises interativas são feitas normalmente no final da fase de projeto, o que condiciona as alterações e decisões a tomar comprometendo o projeto original (Eastman et al., 2011).

Por sua vez, os projetos produzidos nesta indústria são caracterizados, como o resultado de um exaustivo trabalho colaborativo entre os vários domínios (Singh, Gu, & Wang, 2011) onde ocorre uma partilha contínua e refinamento de informação e conhecimento entre os diversos *stakeholders* (Gray & Hughes, 2001)

Sendo diversos os intervenientes, existem inúmeras fronteiras entre eles, sendo elevado o risco de passagem de informação e delimitação de fronteiras de cada interveniente não serem bem tratados ou encaminhados, ao contrário de um ambiente colaborativo em que esse risco é eliminado pela ausência de fronteira.

Ao contrário do processo tradicional que adota uma metodologia fragmentada e sequenciada, o BIM é considerado como uma solução que permitirá dar resposta às necessidades do sector da construção, pela integração dos processos entre os vários *stakeholders* num mesmo processo colaborativo, bem representado na Figura 13 abaixo (Caires, 2013).



**Figura 13** –Processo tradicional colaborativo CAD vs. Processo colaborativo BIM, (Thomassen, 2011).

Segundo a organização AIA (*The American Institute of Architects*), o processo tradicional de entrega e contratos de empreitada é sustentado por diferentes níveis de responsabilidades, que na prática originam rendimentos ineficientes, uma vez que não há intervenções entre as várias fases de projeto.

Para colmatar esta ideia, a AIA acrescenta que o modo de entrega tradicional do projeto é menos produtivo pois o sucesso dos participantes de projeto não está diretamente relacionado com o sucesso global do projeto. Assim é possível que um ou mais intervenientes de projeto sejam bem sucedidos não impedindo no entanto uma falha geral no projeto (AIA, 2007).

### 2.3.2.1 Modelos de contrato de empreitada

Os correntes modelos de contrato de empreitada dividem-se maioritariamente em duas categorias: em modelos tradicionais e colaborativos.

Os modelos mais utilizados no **processo tradicional** são: **(1)** Projeto/Concurso/Construção – DBB (*Design Bid Build*) e **(2)** o de Conceção/Construção – DB (*Design Build*) (Eastman et al., 2011).

Estes modelos estão relacionados com um fluxo de construção, em que cada membro executa o trabalho por fases consecutivas, e cada ocorrência se inicia na finalização da anterior sem que haja colaboração dos intervenientes durante as mesmas, tal como esboçado na Figura 10 relativamente ao processo tradicional (Thomassen, 2011).

O primeiro tipo de contratos DBB, de Projeto/Concurso/Construção, divide-se resumidamente em duas fases. Na primeira fase, o arquiteto desenvolve um programa base e trata dos restantes contratos de especialidades a auxiliar na conceção dos projetos de especialidades (Estrutura e dos Equipamentos), constituindo a equipa projetista. Na segunda fase, dá-se início ao processo de licitação, em que o dono de obra e o arquiteto fazem a seleção de um GC (*General Contractor*), designado em português de empreiteiro geral. O empreiteiro geral selecionado terá de entregar os documentos detalhados de projeto (desenhos finais e especificações) obtidas na fase final de conceção, que serão usados na extração de quantidades e estimativa de custos (Caires, 2013; Eastman et al., 2011).

O BBD apresenta dois grandes benefícios: **(1)** a imparcialidade da equipa projetista, em busca dos interesses do Dono de Obra durante as fases de projeto e construção que permitem uma licitação mais competitiva no alcançar o menor preço possível para o Dono de Obra (Thomassen, 2011); **(2)** e menos pressão política para selecionar o empreiteiro (importante no caso das obras públicas).

Como desvantagem, este tipo de contratos dá-se a uma maior tendência no aparecimento de erros e omissões (Eastman et al., 2011).

Na abordagem de modelo (DB) de Projeto/Construção a responsabilidade das atividades de projeto e construção são atribuídas a uma única entidade contratada, de modo a simplificar a administração das tarefas para o dono de obra (Eastman et al., 2011).

A entidade contratada pelo dono de obra, deverá desenvolver um programa base bem definido e desenhos esquemáticos que vão de acordo aos requerimentos do dono de obra. Ainda na fase de planeamento o projetista tem como função indicar a duração e o custo associado nas fases de projeto e construção (Caires, 2013; Eastman et al., 2011).

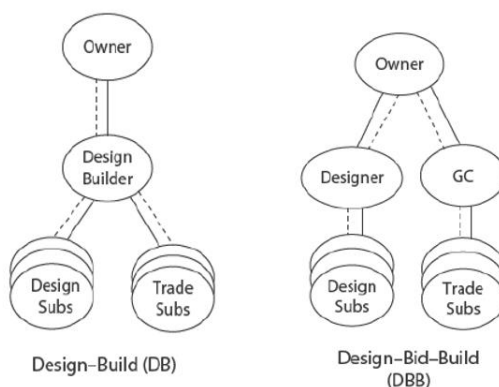
Por sua vez, a responsabilidade do projeto é atribuída a entidade contratada, composta pela equipa projetista de arquitetos e engenheiros, no comando das várias disciplinas de projeto (Thomassen, 2011).

A principal vantagem deste tipo de contratos consiste na possibilidade de fazer alterações e na tomada de decisões pelos projetistas durante as primeiras fases, em que os custos dessas alterações têm um impacto mínimo, pela integração das várias disciplinas de projeto relativamente aos contratos DBB.

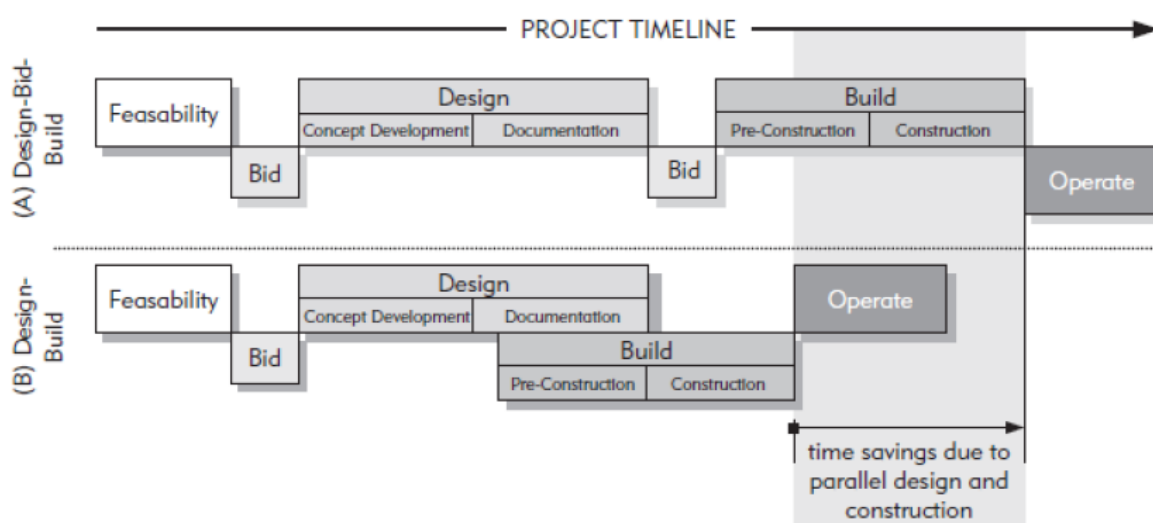
Outra funcionalidade deste tipo de contratos é a possibilidade de reduzir o calendário de entrega (tempo de construção) pela sobreposição das fases de conceção e construção (Thomassen, 2011).

Como desvantagens, apresenta-se a pouca flexibilidade para o dono de obra fazer alterações depois da aprovação do projeto e de se ter estabelecido o orçamento, e não são salvaguardados os interesses do dono de obra, pelo que, a equipa projetista apenas se foca no aproveitamento da construção durante as fases de construção e projeto (Caires, 2013).

Na **Figura 14**, apresenta-se resumidamente as estruturas destes modelos contratuais que se baseiam em processos tradicionais. E na Figura 15 mostra uma comparação destes dois tipos de modelos quanto as várias fases do projeto, construção e operação ao longo do ciclo de vida.

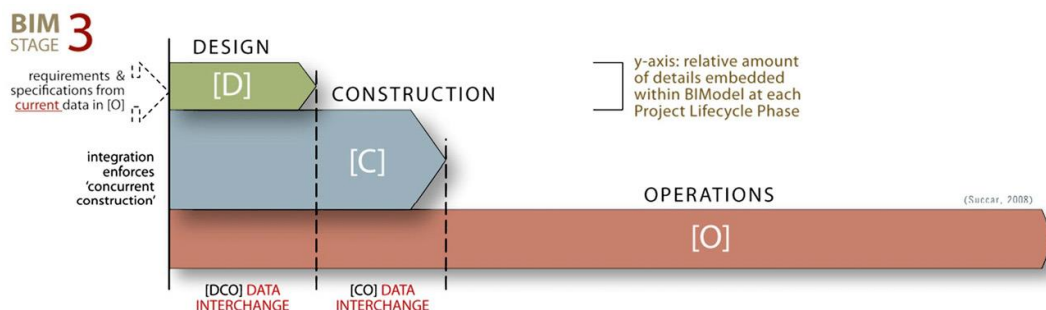


**Figura 14** – Contratos de empreitada DB e DBB respetivamente (Eastman et al., 2011)



**Figura 15** – Processos tradicionais: Comparação entre os contratos DBB e DB, (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008)

Em contraponto aos modelos tradicionais, os modelos de contrato colaborativos promovem projetos mais eficientes na integração das várias fases de trabalho numa lógica/abordagem de IPD (*Integrated Project Delivery*) (Eastman et al., 2011), ver Figura 16.



**Figura 16** –Processo colaborativo: Fases de trabalho *Integrated Project Delivery* (IPD), (Succar, 2009).

O IPD trata-se de uma mudança de comportamento na indústria AEC pela quebra dos diferentes níveis de responsabilidade, e promovendo a cooperação interligada dos principais intervenientes de projeto, em que o sucesso dos participantes corresponde ao sucesso do projeto (AIA, 2007). Na Figura 16 traduz-se esta relação integrada de todas as fases de trabalho.

Qualquer que seja o contrato de entrega escolhido, o dono de obra, gestor de obra ou o empreiteiro poderá usar o BIM.

O DO poderá usufruir do BIM na extração de quantidades de trabalho para a extração de custos, na aplicação de *renders* 3D ilustrativos, assim como, para a integração cronograma BIM como um modelo BIM 4D na simulação virtual das construções (vídeo 4D), a realização de análises de qualidade e segurança e preparação ou planeamento logístico do terreno/estaleiro.

O gestor de obra pode também usar o BIM para coordenar o trabalho com os empreiteiros, melhorar o cronograma de tarefas e os custos, e por fim usar a informação gerada para a um modelo *as-built* de manutenção do produto que poderá ser usado pela equipa de manutenção (Hergunsel, 2011).

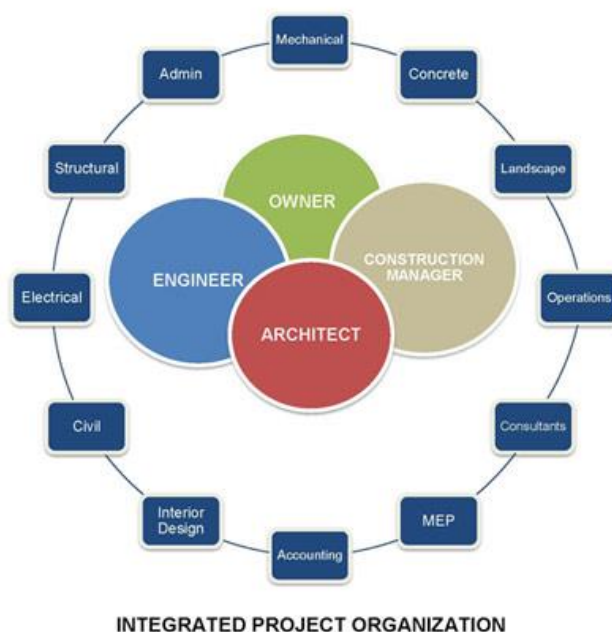
### 2.3.2.2 Integrated Project Delivery (IPD)

Após se ter introduzido o termo IPD procura-se agora explicar de uma forma mais detalhada este tipo de método colaborativo, e perceber quais as principais vantagens do seu uso com o BIM.

IPD (*Integrated Project Delivery*) é uma abordagem de entrega de projeto, que integra pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas dentro de um processo colaborativo, promovendo o engenho e as ideias de todos os participantes de modo a otimizar os resultados, aumentar o valor para o proprietário, reduzir desperdícios, e maximizar a eficácia em todas as fases de projeto, fabricação e construção.

Os princípios IPD podem ser aplicados a uma variedade de arranjos contratuais, em que a equipa projetista é formada por vários membros de trabalho além do triângulo base: Dono de Obra, Arquiteto e Engenheiro.

Para todos os casos, este tipo de projetos integrados destaca-se pela colaboração altamente eficaz entre o Dono de Obra, como primeiro interveniente, desde as fases preliminares de projeto até ao projeto de execução (AIA, 2007). Organização da estrutura IPD pela Figura 17.



**Figura 17** – *Integrated Project Delivery* na integração das várias especialidades de um projeto, (Florida Consultants, 2016)

A evolução tecnológica juntamente com os requisitos dos donos de obra no acompanhamento e/ou procura de maior qualidade nos seus processos, resultam em projetos de construção cada vez mais rápidos, com menor custo e maior qualidade, que têm provocado uma mudança significativa e rápida na indústria da AEC.

Assim é possível ter em conta alguns princípios base do IPD:

- Os técnicos de manutenção, utilizadores e fornecedores estão envolvidos desde o início de projeto;
- Os processos podem ser alterados e as decisões não se baseiam só na primeira base/análise de custos;
- Toda a comunicação envolvida no processo é clara, concisa, de fácil entendimento entre todos os interlocutores salvaguardando a confiança entre todos;
- Os projetistas conseguem tomar decisões, no momento em que surgem, pela melhor perceção das várias ramificações que as envolve;
- Os riscos e ganhos tomam o mesmo valor e são repartidos igualmente sobre todos os participantes da equipa de projeto, ao longo do mesmo (rever Figura 7);
- A indústria produz um ambiente construído mais sustentável e de melhor qualidade.

O guia IPD publicado pela AIA em 2007 cita ainda o termo IPD da seguinte forma:

*«IPD leverages early contributions of knowledge and expertise through utilization of new technologies, allowing all team members to better realize their highest potentials while expanding the value they provide throughout the project lifecycle.*

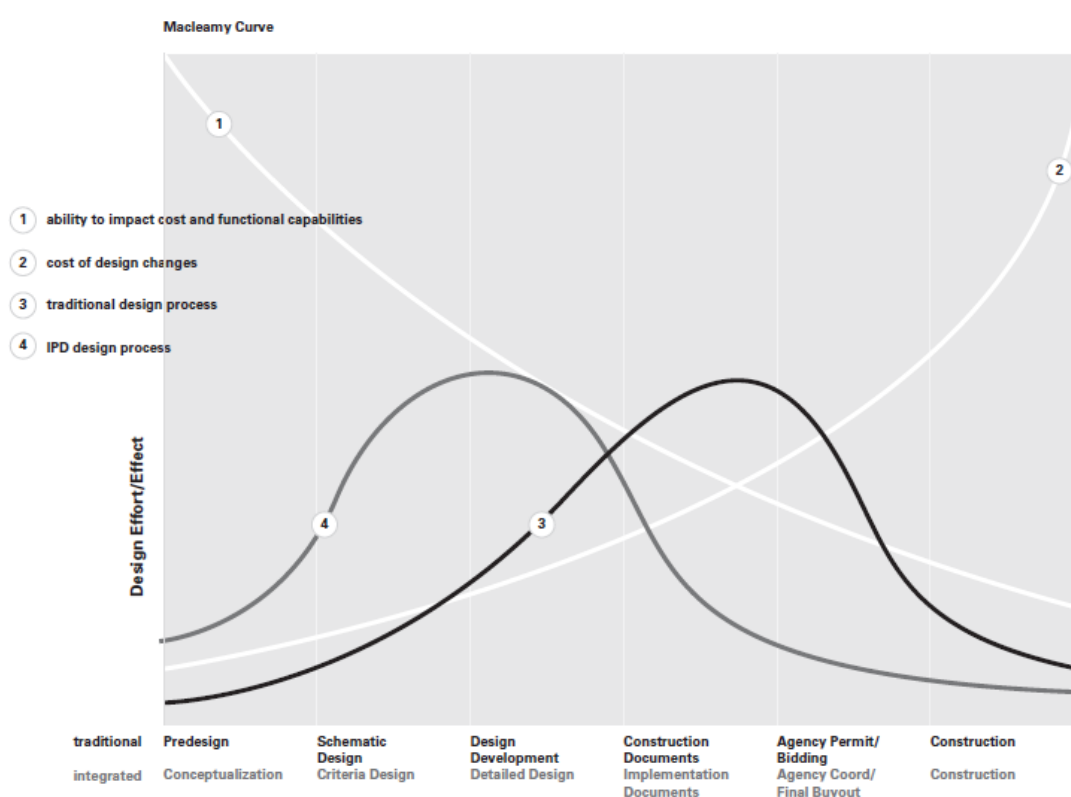
*At the core of an integrated project are collaborative, integrated and productive teams composed of key project participants. Building upon early contributions of individual expertise, these teams are guided by principles of trust, transparent processes, effective collaboration, open information sharing, team success tied to project success, shared risk and reward, value-based decision making, and utilization of full technological capabilities and support. The outcome is the opportunity to design, build, and operate as efficiently as possible» (AIA, 2007)*

Por fim, a contribuição do IPD nas primeiras fases de projeto, pela utilização de novas tecnologias, e a integração de todos os intervenientes num processo colaborativo utilizando as metodologias BIM permitem que haja um maior esforço pela equipa projetista nas fases iniciais de projeto, permitindo a deteção e resolução de erros e omissões, onde os custos

envolvidos são ainda relativamente baixos (L. Wang, Shen, Xie, Neelamkavil, & Pardasani, 2002).

A antecipação de decisões, o mais breve possível, onde estas sejam mais efetivas e apresentem menor custo, introduz um novo pensamento sobre as fases gerais de projeto (AIA, 2007).

A conhecida curva de *MacLeamy* (Figura 18) ilustra o conceito de tomada de decisões nas fases preliminares de projeto, de modo a maximizar os resultados e minimizar o custo das alterações (AIA, 2007; Cavieres, Gentry, & Al-Haddad, 2011).



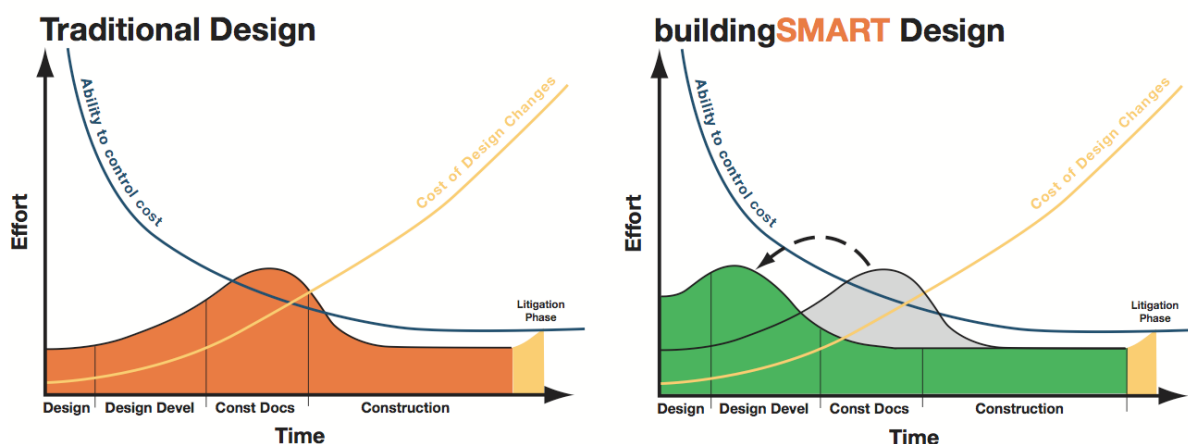
**Figura 18** – Curva de MacLeamy (AIA, 2007)

Na curva de *Macleamy*, a curva 1, mostra a influência das decisões em afetar os custos e a performance, em que a habilidade para a tomada destas decisões decresce ao longo do tempo. A curva 2 refere-se ao custo das alterações ao projeto, aumentando ao longo das fases de projeto.

Finalmente a comparação das curvas 3 e 4, respetivamente a distribuição do processo tradicional de projeto e a redistribuição de esforço pelo processo colaborativo IPD, é possível notar os benefícios de uma maior concentração e de trabalho colaborativo nas primeiras fases



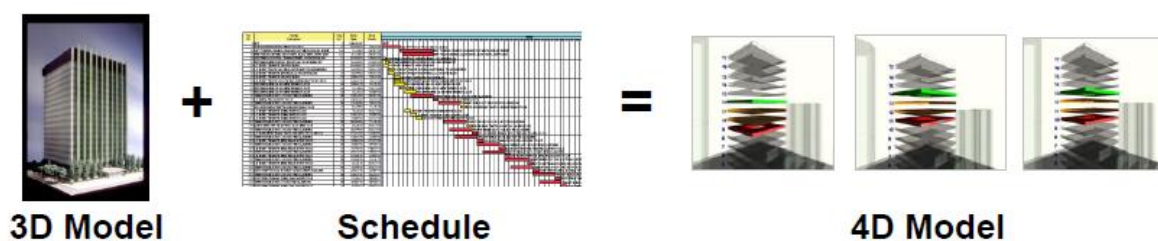
de projeto (Cavieres et al., 2011), cuja otimização é bem visível na comparação da Figura 19 abaixo.



**Figura 19** - Otimização da curva tradicional pela antecipação das tomadas de decisões, resultando na Curva de MacLeamy otimizada<

### 2.3.3 Faseamento construtivo: BIM 4D

Tal como foi referido anteriormente nas dimensões BIM, o BIM-4D consiste na adição do tempo ao modelo 3D paramétrico.



**Figura 20** - Obtenção de um modelo BIM 4D (US General Services Administration, 2009)

Os modelos BIM-4D mostram a evolução da construção ao longo do tempo, pela combinação das atividades decorrentes da construção e os elementos construtivos que as suportam (ver Figura 20) (US General Services Administration, 2009).

A componente tempo adiciona, para cada elemento do edifício, a data de início e de fim da sua construção, podendo a partir do modelo 4D simular graficamente a sequência das

operações da construção, para um melhor entendimento virtual e visual do processo (Mahalingam, Kashyap, & Mahajan, 2010).

O principal objetivo deste tipo de modelos é mostrar visualmente o plano de construção, as áreas afetadas por fases e/ou equipas de trabalho (*US General Services Administration*, 2009).

Esta ferramenta BIM compreende as fases de planeamento e do faseamento construtivo para controlo da produção no local de obra e apoio das decisões que deverão ser tomadas ao longo das duas fases, de uma forma rápida e sustentada pelo modelo (Trimble, 2015).

Segundo (Trimble, 2015), o BIM-4D integra a extração de quantidades por localização pretendida, os recursos, níveis de produtividade, e custos de projeto que dão o respetivo valor ao “I” de *Information* (Informação) do BIM.

Vários conceitos teóricos sobre o BIM sugerem-no não só como modelos geométricos do desempenho dos edifícios, mas também como potencializador para a gestão de projetos de construção (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013).

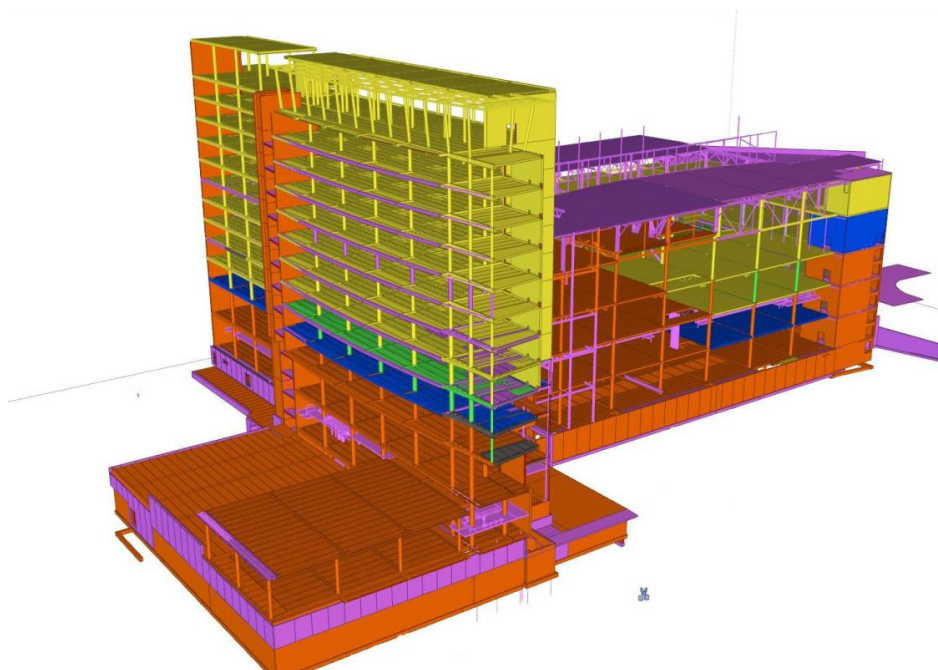
De acordo com o *guideline* da (COBIM, 2012), o planeamento BIM (4D) destina-se a complementar o cronograma da construção e para o controlo de várias questões como o nível de precisão do cronograma.

O planeamento da construção pode ser feito como um modelo estático de visualização gerado a partir do modelo BIM-4D, distribuído com diferentes cores que representam códigos por elementos de construção por implantação e em diferentes tempos de forma a gerir a construção (COBIM, 2012), como mostra o exemplo de modelo estático representado na Figura 21.

As cores do modelo exemplo representado na Figura 21 dão informação à cerca do estado da construção, no tempo e no espaço, na qual se divide em seis cores diferentes presentes na legenda da Tabela 3:

**Tabela 3-** Exemplo de atribuição de cores a estados da construção adaptada de (COBIM, 2012)

Laranja	Completo/ Instalado
Azul	Semana atual
Verde	Próxima semana
Amarelo	Planeado
Roxo	Planeado, em duas semanas

**Figura 21** – Exemplo de representação do planeamento BIM na construção da componente estrutural de um edifício (COBIM, 2012)

### Funcionalidades do BIM 4D

São várias as funcionalidades do BIM 4D.

Os modelos 4D tem sido usados por projetistas, engenheiros e equipas de direção técnica de obra para analisar e visualizar projetos como forma de apoio à decisão, no planeamento das operações da construção e a sua viabilidade (Mahalingam et al., 2010), para desenvolver estimativas de custo e gerir recursos (Akinci, Tantisevi, & Ergen, 2003), assim como, para comunicar e colaborar com os clientes e outros *stakeholders* (Eastman et al., 2011; Liston, Fischer, & Winograd, 2001).

Outros estudos abordam o BIM 4D para a otimização logística e espacial do estaleiro (Chau, Anson, & Zhang, 2004), a avaliação de várias alternativas de calendarização, e a formação de trabalhadores inexperientes.

Numa perspetiva dos donos de obra, no acompanhamento da construção, podem-se destacar as seguintes funcionalidades:

- Ligação do modelo 3D BIM e do planeamento da construção a uma mesma base de dados;
- Planeamento das atividades da construção;
- Planeamento e otimização do estaleiro;
- Simulação 4D animada da construção;
- visualizar projetos como forma de apoio à decisão.

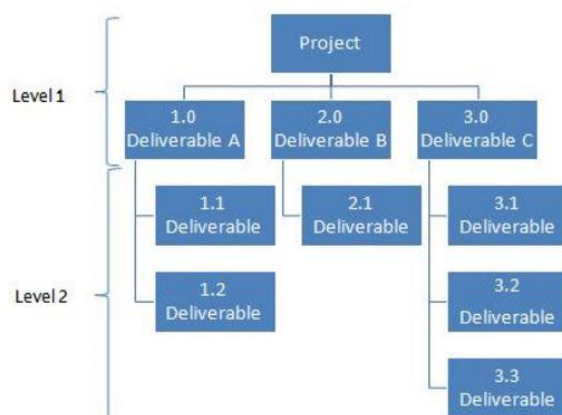
Os projetos de construção são constituídos por diferentes empreitadas que juntas preparam o produto final construído no local. As tarefas das várias empreitadas precisam de ser alinhadas para permitirem uma entrega eficiente do produto (Trebbe, Hartmann, & Dorée, 2015).

Por sua vez, os donos de obra deverão elaborar o planeamento do estaleiro em função das atividades de construção, de modo a garantir a segurança e a produtividade do ambiente.

O planeamento do estaleiro da construção é constituído por variados tipos de espaços em função das atividades de construção. Esses espaços são representados em três dimensões e ao longo do tempo. Uma vez que o sequenciamento da construção envolve centenas de atividades que requerem múltiplos locais, é complexo para os projetistas gerir manualmente todos esses processos necessários à representação da construção nas 4 dimensões (no espaço e no tempo).

A WBS (*Work Breakdown Structure*) trata-se de um Sistema de classificação que consiste na decomposição do projeto em vários subsistemas, mais fáceis de gerir desde um nível de detalhe dos principais elementos do projeto até às suas atividades (*Project Management Institute*, 2013).

A WBS apresenta-se graficamente sob a forma de uma árvore hierarquizada com múltiplos níveis de detalhe tal como mostra a Figura 22.



**Figura 22** – Exemplo de estrutura hierarquizada WBS (*Expert Program Management*, s.d.)

No topo apresenta-se uma breve descrição do âmbito do projeto, seguidos de vários níveis consoante o grau de definição pretendido. O segundo nível é o nível dos itens de trabalho no qual o âmbito do projeto é dividido em diversas partes (itens) correspondentes à complexidade do projeto. Cada item de trabalho pode ser subdividido em categorias de trabalho, assim neste nível é importante compilar dados do tempo e custo para um controlo eficiente. Por fim, o nível mais baixo da WBS é usado para as atividades do projeto. Este nível contém estimativas de custo, tempo e os recursos necessários e apresentadas relações de precedência (Vanhoucke, 2014).

A necessidade dos espaços do estaleiro conduz ao uso de um modelo de planeamento baseado nas localizações (Akinci et al., 2002).

Os modelos 4D visam também integrar e adicionar valor aos métodos tradicionais do planeamento, como desenhos 2D e cronogramas/diagramas CPM, no modo como o cronograma de construção é estruturado (Mahalingam et al., 2010).

Por fim, surge então a necessidade de apresentar alguns métodos de planeamento existentes, baseados nos métodos tradicionais e/ou manuais e métodos a integração de modelos 4D BIM.

Dos vários métodos experimentados na indústria da construção irão ser destacados o método de CPM e o método da Linha de Balanço (planeamento por localizações).

### **2.3.4 Controlo de custos - BIM 5D**

O BIM 5D consiste na adição do custo ao modelo BIM (4D) (Azhar, 2011).

O 5D integra todo o tipo de informação das datas de custo, como quantidades, cronogramas e orçamentos.(Smith, 2014)

O principal objetivo da utilização do BIM 5D consiste na possibilidade de ter um modelo BIM que gere automaticamente todos os custos e as suas representações em função do tempo. Isto permite uma redução instantânea, do tempo despendido com esta fase de projeto, para além de aumentar a precisão das quantidades retiradas, graças à redução das ambiguidades criadas pela utilização de modelos em CAD e pela consulta de informação externa ao modelo (Kamardeen, 2010; Mitchell, 2012).

Num estudo elaborado pela *McGraw Hill Construction* em 2012, (McGraw Hill Construction, 2012), relata que a adição dos custos (5D) ao BIM é reconhecido ainda como um processo dificultado, mesmo que se reconheça como um potencial valor do BIM no futuro, caso esta dificuldade seja ultrapassada. Monteiro e Poças Martins, reconhecem ainda que a maioria das ferramentas BIM são capazes de realizar a extração de quantidades, mas não efetuam a estimativa de custo, que geralmente é efetuada num software diferente, sendo esta transferência feita através de um ficheiro em formato IFC que ainda não garante que a totalidade da informação é transferida, existindo assim perda de informação que pode levar, em última análise a quantidades e estimativas incorretas (Monteiro & Poças Martins, 2013).

A quantificação de custos trata-se de um processo moroso, exaustivo e sujeito ao erro humano, no qual o esquecimento de uma parcela poderá colocar o projeto em risco. O BIM, como potenciador de informação torna estes processos rápidos, pela capacidade de extração automática de custos, podendo salvar até 40% da revisão dos custos e reduzir até 7% do tempo gasto em projeto utilizando métodos tradicionais, e que por sua vez facilita as tomadas de decisão dos projetistas/ donos de obras (Azhar, 2011).

Segundo (Azhar, 2011), o uso de ferramentas BIM 5D traz como vantagens:

- uma estimativa mais rigorosa dos custos e dos recursos necessários,
- reduz o risco associado aos projetos e constantes derrapagens de orçamentos,
- otimiza a produção e o controlo de todos os custos ao longo do ciclo-de-vida,
- estima uma precisão de custos de 3% em relação às estimativas tradicionais.

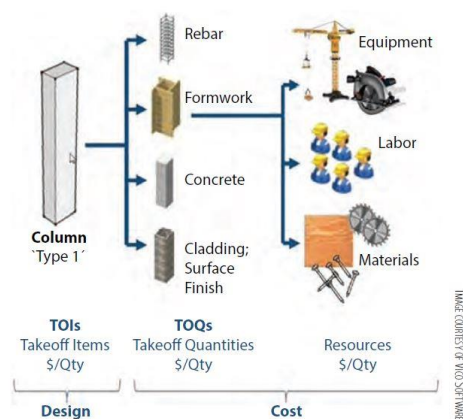
Segundo (ndBIM *Virtual Building*, 2014), o BIM 5D garante um orçamento atualizado automaticamente no caso da ocorrência de alterações ao projeto e permite identificar visualmente no modelo quais os elementos que contribuem com quantidades para um determinado artigo.

Em conclusão, um estudo nos EUA (Estados Unidos da América) estima que os software BIM nas empresas de construção são usados maioritariamente para a visualização e em seguida para a modelação e projeto de arquitetura, sendo que os processos de estimativa e planeamento rondam os 56% e 40% do uso BIM, respetivamente (Sattineni & Bradford, 2011).

### **Extração Automática de custos – *Quantity Take-off* (QTO)**

A extração de custos baseada no BIM é usualmente feita através de uma base de dados com o modelo BIM, para ligar diretamente os componentes a um custo unitário ou parcial de modo a produzir uma estimativa. Para isto, o planeamento será composto como um procedimento de objetos com uma ordem particular, para a sua execução (Hardin & McCool, 2015).

A da Figura 23 exemplifica para o objeto de execução (pilar), que elementos deverão haver para a sua elaboração, que recursos consome, qual o procedimento da sua construção e quanto tempo consome, associados a custos unitários e / ou parciais e formam o custo total.



**Figura 23** – Fluxo da estimativa de custo de um objeto (Vico Software, n.d.).

A integração da estimativa/extração de custos e do planeamento é única relativamente aos métodos anteriormente usados, onde estes dois sistemas são elaborados de uma forma autónoma, raramente tendo sido utilizados para o mesmo propósito (Hardin & McCool, 2015).







Este trabalho de dissertação pretende debruçar-se sobre estes dois fatores (tempo e custos) associado ao BIM, analisando as ferramentas disponíveis, no sentido de orientação desta temática.

### 2.3.5 Software BIM 4D e 5D

São várias as *software houses* com aplicativos 4D e 5D BIM. A Tabela 4 apresenta um resumo de principais ferramentas BIM com capacidades 4D adaptadas de (Eastman et al., 2011).



**Tabela 4** – Principais Ferramentas com capacidades BIM 4D (Salgado, 2016)

<i>Software House</i>	<b>Ferramenta BIM 4D</b>	<b>Logotipo</b>
<b>Autodesk®</b>	Navisworks	
<b>Synchro® Ltd</b>	Synchro Pro	
<b>Vico Software®</b>	Vico Office 4D Manager	
<b>Bentley®</b>	Bentley Navigator	
<b>Innovaya®</b>	Visual 4D Simulation	
<b>Gehry Technologies®</b>	Digital Project Extensions	

O *BIM Handbook* aconselha algumas considerações a ter na avaliação destas ferramentas e das capacidades 4D:

- Capacidades de importação BIM
- Importação do cronograma
- Atualização do modelo 3D com a construção
- Reorganização
- Componentes temporários
- Animação – *snapshot* da construção
- Análises
- Output

- *Link* automático

Segundo Hardin, os *software Navisworks, Synchro e Vico Software*, tornam o processo de atualização e edição dos modelos e cronogramas mais acessíveis.

Considera ainda que os cronogramas podem ser indexados com custos e informação dos recursos, que pode ser validada antes do início dos trabalhos de forma a corrigir e a verificar a quantidade de materiais e do nº de trabalhadores envolvidos (Hardin & McCool, 2015).

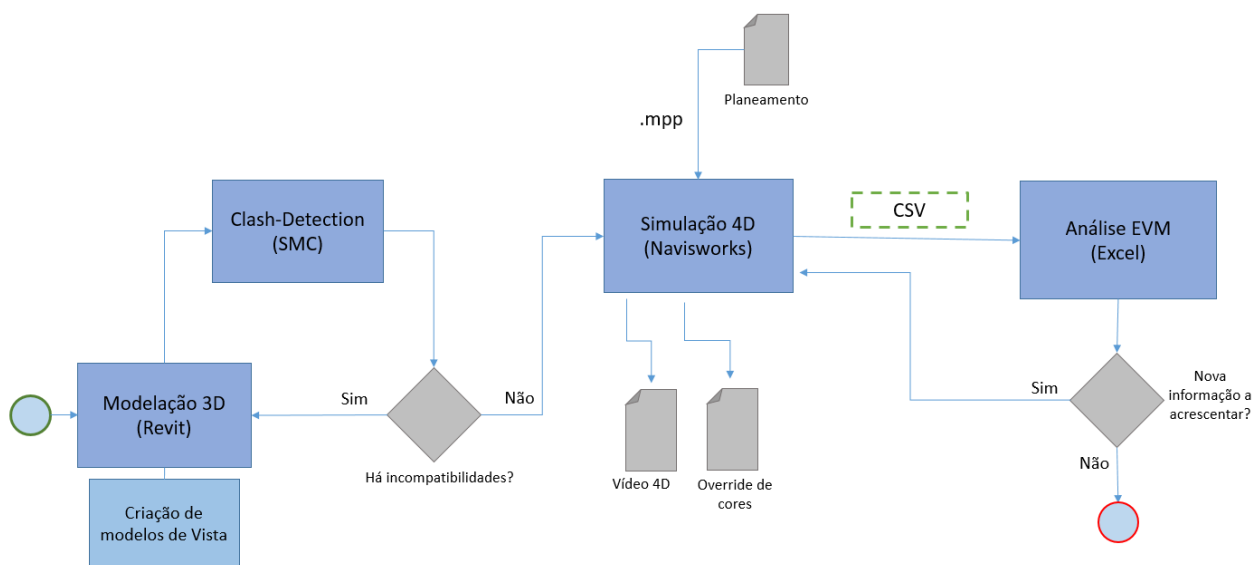
## CAPÍTULO 3

## 3 MODELAÇÃO 3D

## 3.1 Aplicação prática da metodologia BIM na gestão da construção

Na 3.1 é apresentada a metodologia de fluxo de trabalho realizada e aplicada à elaboração do caso prático, que serve de base a esta dissertação.

O fluxo é composto por quatro fases de trabalho principais: (1) a modelação 3D do caso de estudo, (2) a identificação de incompatibilidades (*clash-detection*), (3) a simulação 4D e (4) pela elaboração de uma análise de gestão com base no método EVM.



**Figura 24** – Fluxo de Trabalho utilizado na metodologia adotada

Este esquema identifica os caminhos que foram percorridos para se fazer a gestão de obra e explica também as relações entre os vários *software* usados e como se fez a passagem entre eles.

Por fim resultou uma análise de gestão alicerçada numa animação 4D e num modelo estático de cores identificativas do estado da construção, que permite uma visualização clara, simples e esclarecedora dando uma visão global do projeto e sua evolução.

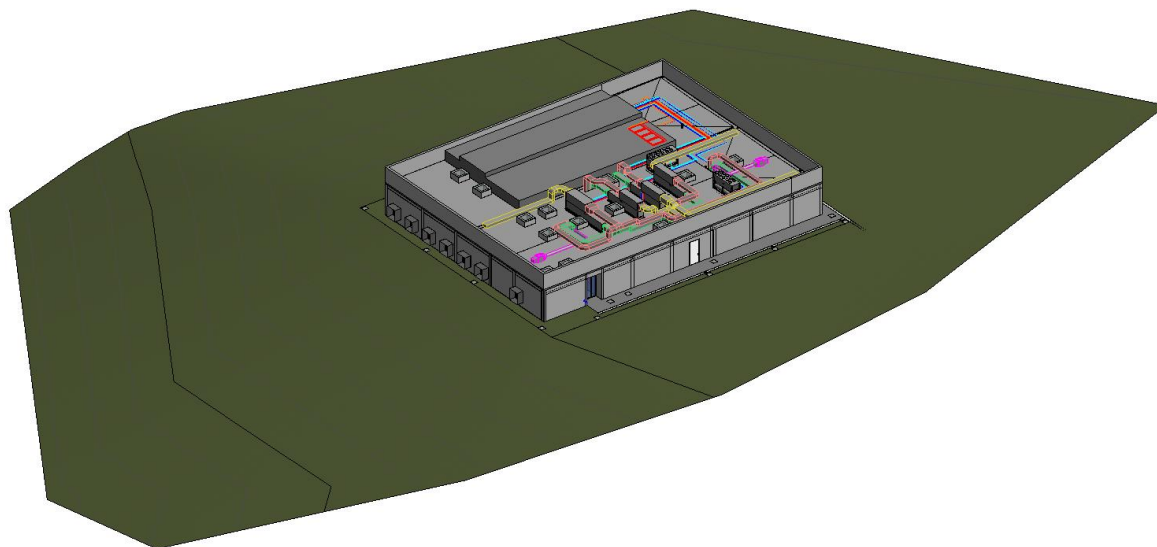
A modelação 3D é a primeira fase de trabalho abordada na metodologia prática.

Esta primeira etapa, embora embrionária da gestão utilizando ferramentas BIM, tornou-se a base de todas as seguintes fases da metodologia, uma vez que a modelação contém informação pertinente da construção e/ou do projeto.

O caso prático trabalhado consiste num Edifício de Serviços de saúde com uma implantação em planta com 1.200 m<sup>2</sup>, desenvolvendo-se num só piso com um pé-direito de 4,0 m e com o requisito de ter uma altura útil mínima de 2,0 m.

Assim, nesta etapa modelou-se o edifício em si, assim como as várias especialidades de projeto e acrescentou-se informação relevante para a gestão da obra, nomeadamente, através da criação de objetos específicos com relações paramétricas e ligações entre eles, a criação de modelos de vista no *software* de modelação e a sua interoperabilidade com todos os passos da metodologia prática, a deteção de conflitos e de incompatibilidades e a correção do modelo que dá informação pertinente por forma a se puderem proceder à antecipação de problemas que surgem em obra assim como permitir o estudo de alternativas.

Foi elaborada a modelação de quatro grupos: (1) Estruturas, (2) Arquitetura e (3) MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*) (à exceção das redes elétricas), finalmente (4) a modelação do terreno a partir da topografia fornecida, tudo representado na Figura 25.



**Figura 25** – Modelo 3D completo

A modelação 3D destas componentes foi feita baseada num possível faseamento construtivo, para que houvesse uma melhor interação entre o modelo virtual e a obra.

Como exemplo, os pilares estruturais foram modelados por pisos, o que permite sequenciar o seu processo construtivo na betonagem por níveis.

Esta divisão dos elementos construtivos permitiu uma melhor coordenação e controlo do modelo, assim como, facilitou os processos do faseamento construtivo 4D (ao ligar os elementos 3D da modelação às tarefas planeadas).

O *software* escolhido para a modelação 3D foi o *Revit 2016*, por se tratar de um *software* de:

- fácil manuseamento;
- apresentar livrarias e bibliotecas de objetos variadas;
- ser de licença livre para estudantes;
- permitir a coordenação das várias especialidades de construção.

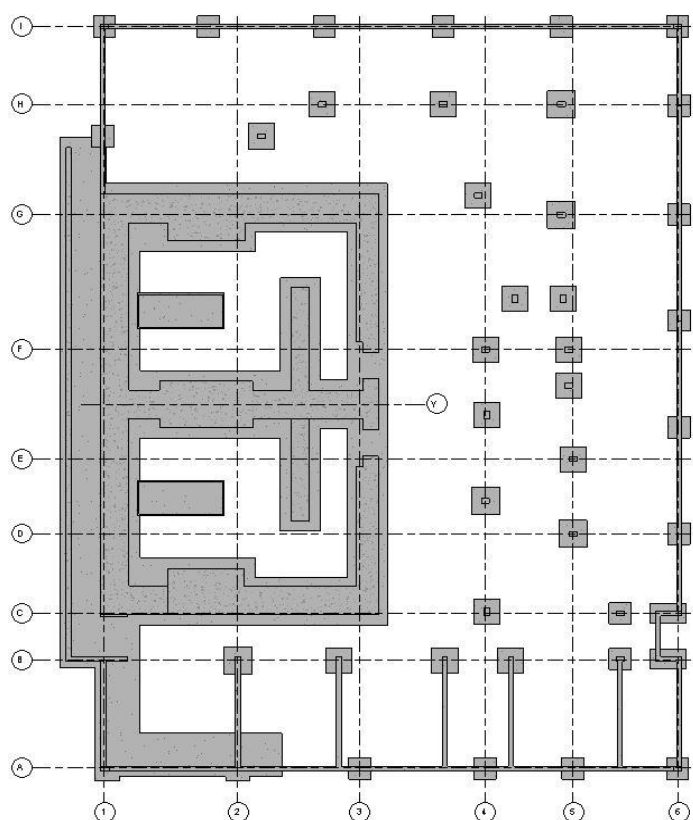
As diferentes especialidades do modelo da Figura 25 serão devidamente explicadas nos tópicos que se seguem descrevendo o projeto de estudo.

### 3.2 Estruturas

A especialidade de Estruturas foi modelada em primeiro lugar dada a sua particularidade, ser a primeira especialidade a ser executada e para haver uma melhor coordenação com a arquitetura. Para apoio da modelação de todos os objetos criou-se grelhas e níveis descritivos do projeto.

Assim, no *Revit* iniciou-se a modelação por definir os eixos e os níveis de projeto.

Para tal, ordenou-se o modelo numa grelha constituída por (1) linhas de eixo horizontais de A a I, e (2) linhas de eixo verticais de 1 até 6, representados na planta da Figura 26 e nas elevações da Figura 27 e da Figura 28.

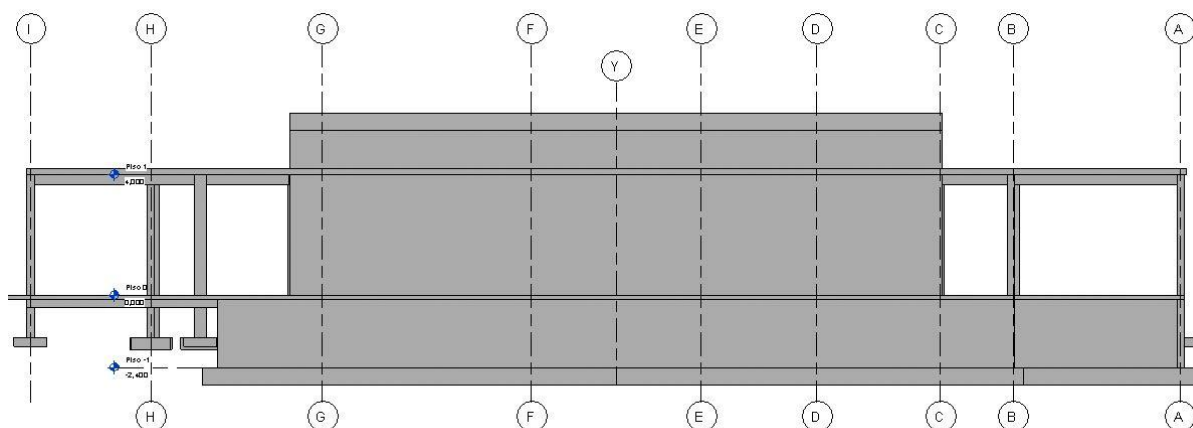


**Figura 26** – Representação da Grelha criada no modelo.

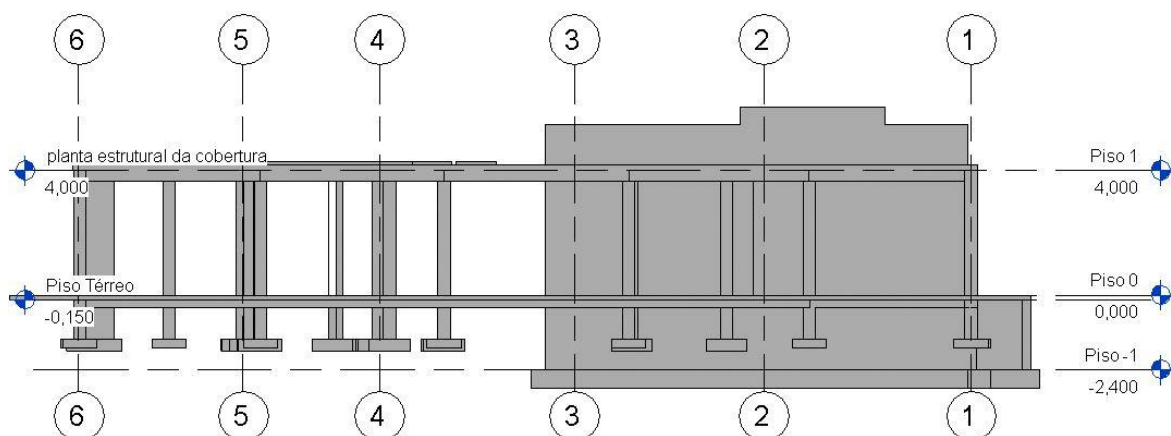
Esta grelha permitiu uma leitura direta do projeto e serviu de apoio à modelação de cada elemento.

O projeto de Estruturas foi ainda estruturado em três principais níveis no *Revit*: (1) pela planta estrutural das fundações (designado de Piso -1), (2) pelo piso útil (designado de Piso

0 no modelo) e pela (3) planta da cobertura (designado de piso 1) igualmente representados nos alçados Lateral Esquerdo e Frontal representados sucessivamente na Figura 31e na Figura 32.



**Figura 27** – Vista Lateral Esquerdo do modelo *Revit* para a especialidade de Estruturas

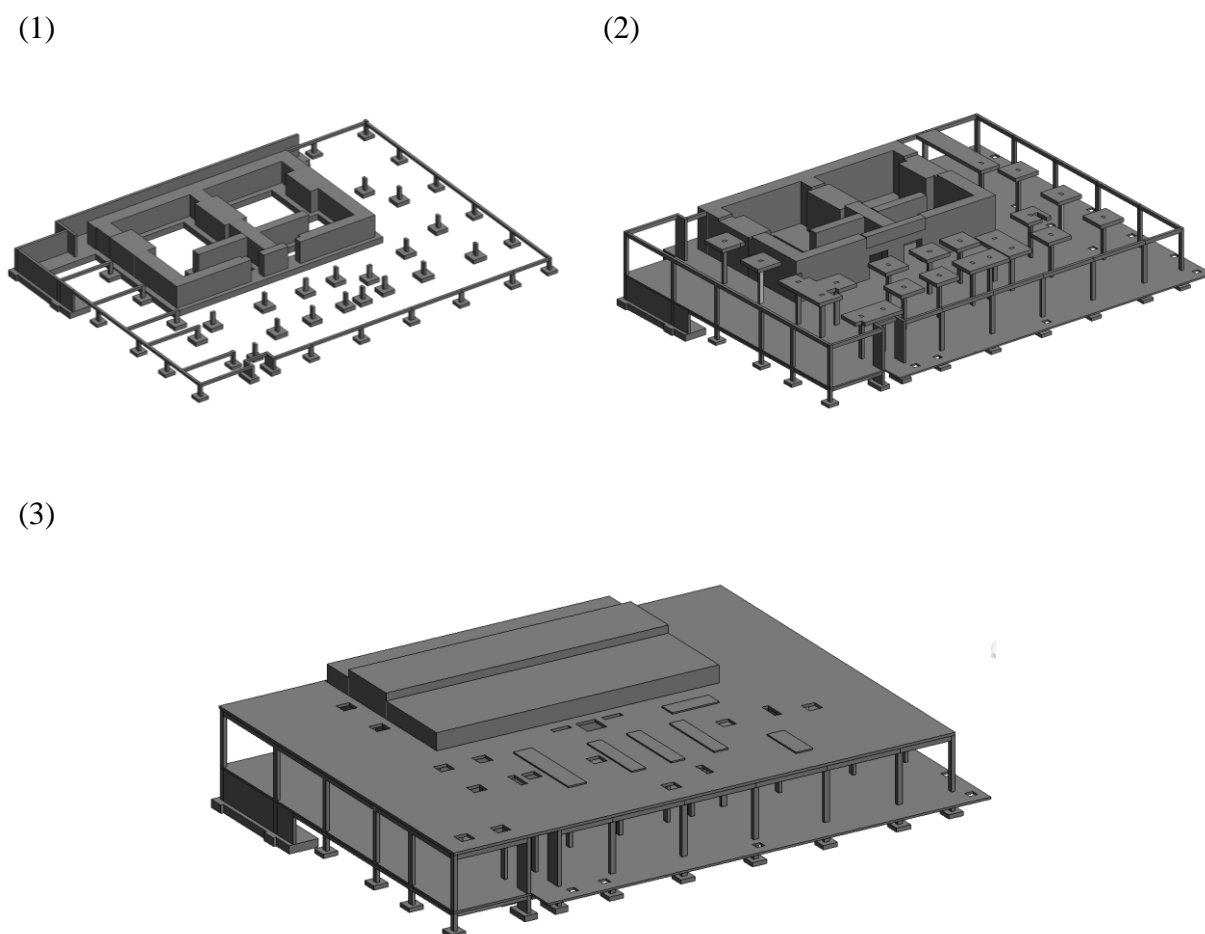


**Figura 28** – Vista Frontal do modelo *Revit* para a especialidade de Estruturas

Estes níveis contêm informação das cotas das peças estruturais, o que permite para qualquer que seja necessária fazer, essas alterações serão automaticamente feitas em todos os elementos associados, como por exemplo, a alteração da cota a que se encontram.

Além destes principais níveis, foram criados outros níveis de apoio com cotas semelhantes aos níveis principais (exemplo na Figura 28 eixo 6), que serviram para visualização ou para focar na modelação de objetos específicos. A título de exemplo, as cotas acima descritas de apoio, serviram para criar uma vista para a planta do piso térreo estrutural (Figura 26).

Tal como referido na introdução deste capítulo a modelação foi feita de acordo com o faseamento construtivo da obra, sendo que a modelação das estruturas se esquematiza nas fases (1) da modelação das Fundações, (2) dos elementos da Superestrutura do piso útil e (3) dos elementos da cobertura, representadas na Figura 29.



**Figura 29** – Modelação das estruturas por níveis: (1) Fundações (Piso -1); (2) Piso útil (Piso 0) e (3) modelação da cobertura do piso 1.

Os objetos da Estrutura foram desenvolvidos com um nível de detalhe – *Level of Development* (LOD) mínimo de 300. O LOD foi classificado de acordo com as especificações (BIM Forum, 2013, 2016). As armaduras não foram modeladas.

A modelação da especialidade de estruturas contempla todos os elementos, resumidamente descritos nos seguintes subtópicos.



### 3.2.1 Fundações: Sapatas e muros de fundação

Os elementos de fundação dividem-se em (1) sapatas, (2) muros de fundação, (3) vigas e (4) pilares. Contudo, os pilares e as vigas de fundação serão abordados no tópico 3.2.2.

As sapatas foram modeladas como laje de fundação com espessuras maiores. Estes elementos dividiram-se em três tipos de laje nomeados no Revit de:

- Laje de Fundação de Betão – 0,6 m
- Laje de Fundação de Betão – 0,4 m
- Laje de Fundação de Betão – 0,3 m

Os muros de fundação foram modelados como paredes estruturais de 250 mm. Estes elementos encontram-se representados na Figura 33 – (1).

### 3.2.2 Vigas e Pilares

Os pilares foram modelados através do comando *structural column* do *Revit* com as seguintes dimensões:

P1: (0,4 x 0,25) m

P2: (0,25 x 0,40) m

P3: (1,30 x 0,25) m

As vigas estruturais dividem-se em dois tipos de dimensões: (1) vigas de fundação com 0,25x0,40 m e (2) vigas de cobertura com 0,25x0,55 m.

### 3.2.3 Capitéis

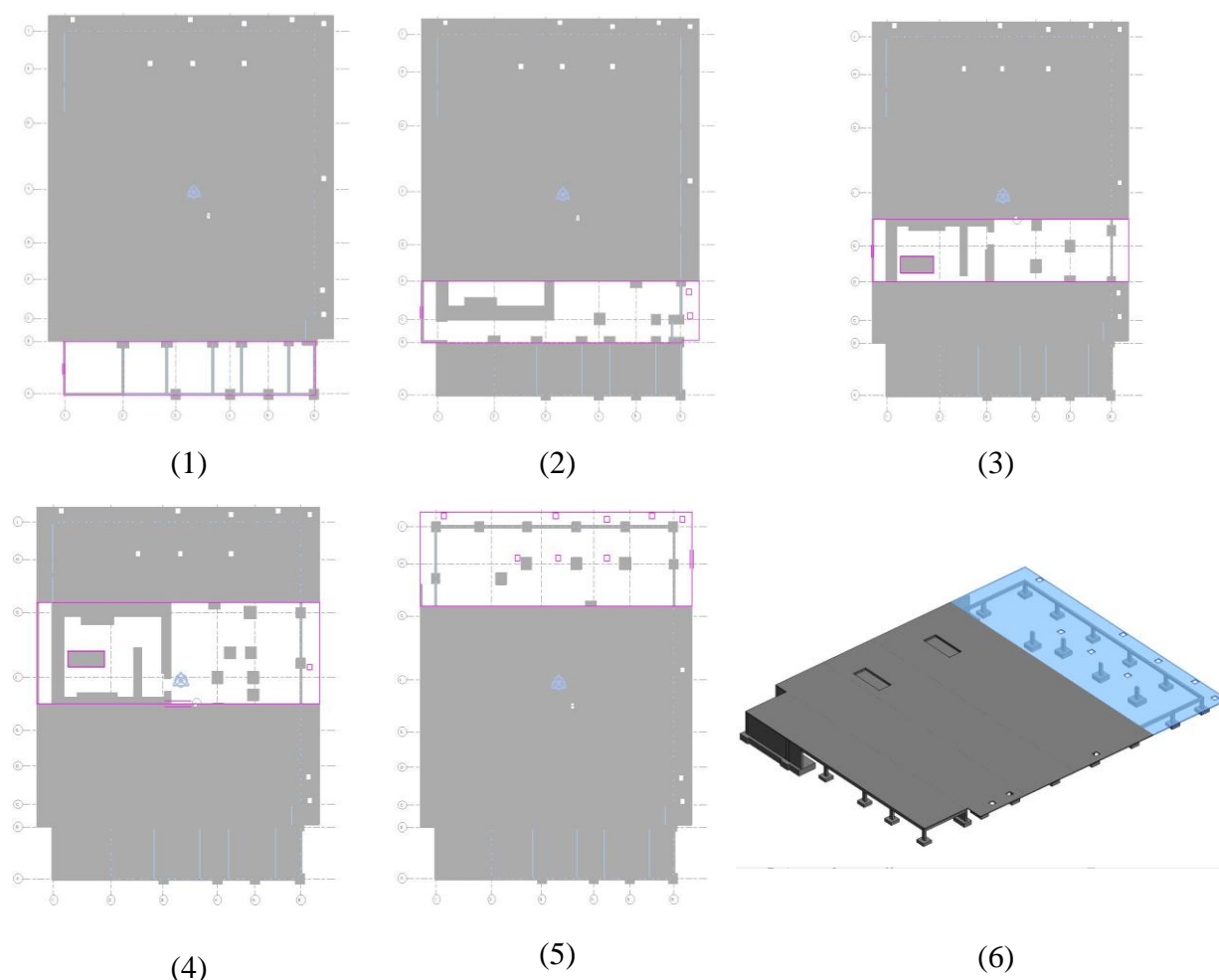
Os capitéis têm geometria em planta variada ao longo da sua localização, com espessuras constante de 0,35 m.

A sua modelação no *Revit 2016* foi concebida considerando-os como elementos de laje (*structural floor*).

### 3.2.4 Lajes

O projeto apresenta dois tipos de laje: (1) laje maciça com espessura de 15 cm do piso e a (2) laje fungiforme maciça da cobertura com 20 cm de espessura, com capitéis com 35 cm de espessura na zona dos pilares, de forma a resistir aos esforços de punçoamento.

Estas lajes foram modeladas como elementos simples planos com espessuras definidas no *Revit*. No caso da laje fungiforme considerou-se como uma laje de geometria plana constante de 20 cm e os capitéis foram modelados como elementos de laje aparte. Para cada laje seguiu-se o procedimento de modelação da Figura 30, exemplificado para a laje maciça de 15 cm, em que se adotou um faseamento construtivo de divisão da laje total em 5 passos (1), (2), (3), (4) e (5) da Figura 30 resultando no modelo 3D esboçado no passo (6).



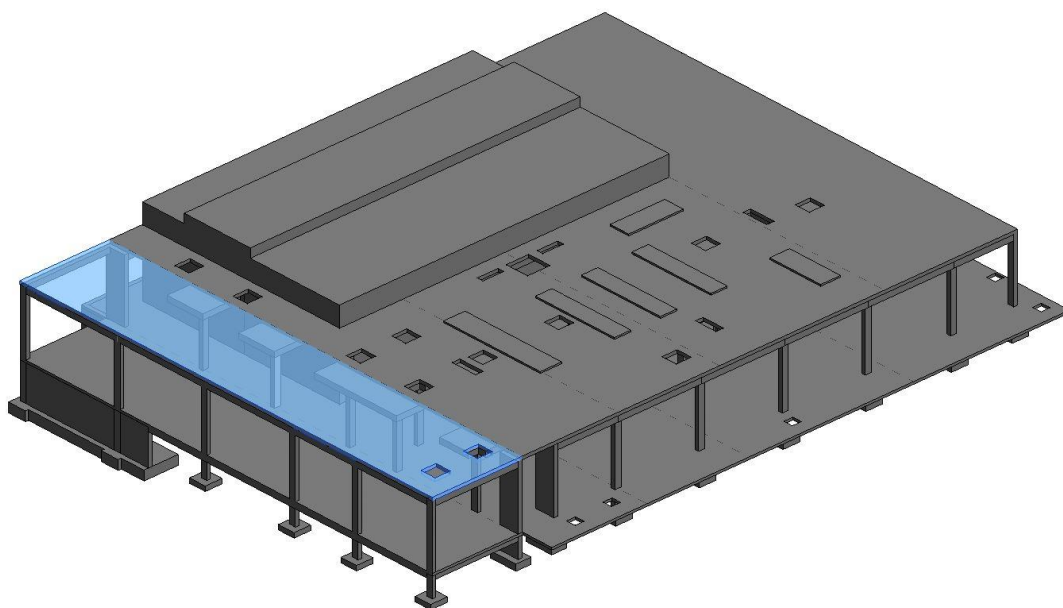
**Figura 30** – Sequência de modelação da Laje maciça de 15 cm: (1), (2), (3), (4) e (5), e produto final modelado (6).

Para a laje fungiforme repetiu-se o mesmo procedimento da Figura 30 usado para a laje maciça.

No traçado destas lajes desenhou-se ainda os negativos, resultante da compatibilidade / sobreposição entre as diferentes especialidades.

Estes negativos são destinados entre outros, à colocação das caixas de saneamento no caso da laje do piso, à passagem de tubagens e condutas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) e da construção das claraboias, no caso da laje da cobertura. Estes negativos das lajes estão ilustrados nas Figura 30 e Figura 31.

A Figura 31 exibe a modelação total das lajes, que foram unidas no *Revit* através da ferramenta “*join*”. É possível ainda ver, em cada laje, o tracejado da divisão em cinco partes.



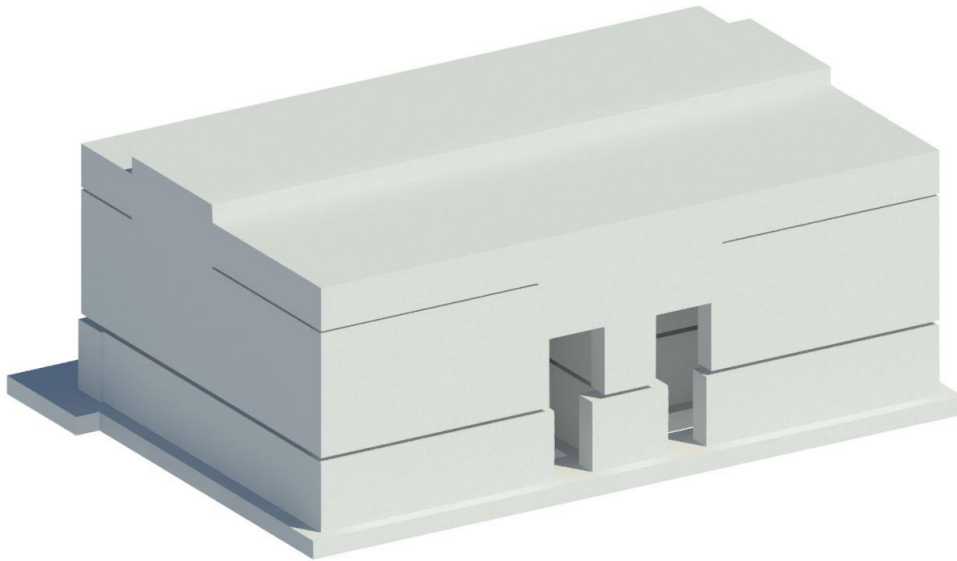
**Figura 31** – Representação 3D final das lajes e a sua divisão.

### 3.2.5 *Bunkers*

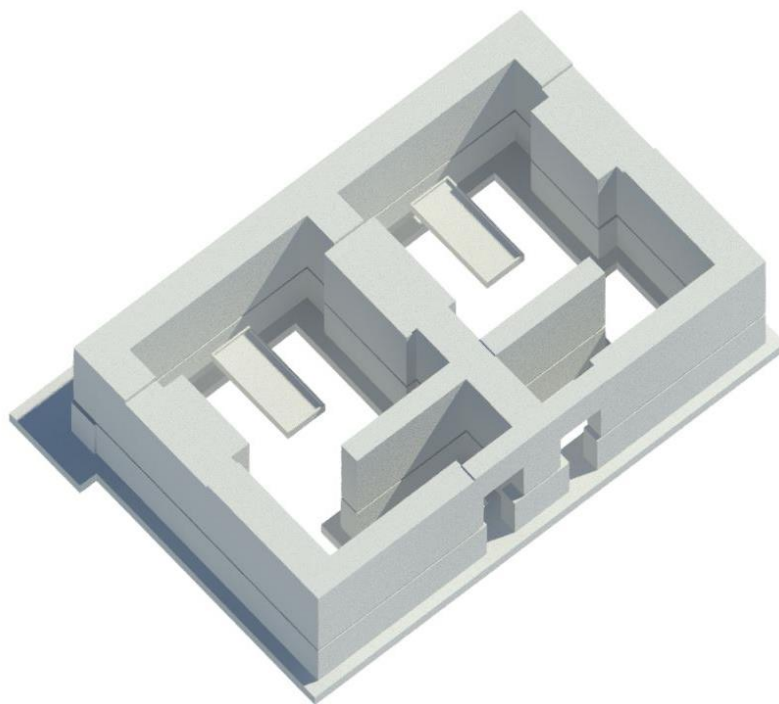
Os *Bunkers* consistem em duas unidades modelares que foram abordadas como um conjunto de paredes estruturais, de lajes e sapatas de fundação, de grande espessura variando ao longo do seu desenvolvimento. A Figura 32 permite explicar os *Bunkers* do modelo num modo de visualização do *Revit*, em que é possível notar as grandes espessuras das paredes (ilustradas

na Figura 33) e das lajes (na Figura 32) relativamente aos outros elementos do projeto, por se tratar de uma unidade de serviços de radioterapia.

As paredes estruturais foram modeladas como “*Structural Wall*” com espessuras definidas em cada parede, e as lajes modeladas como “*Structural Floor*”.



**Figura 32** – Vista completa dos *Bunkers*.



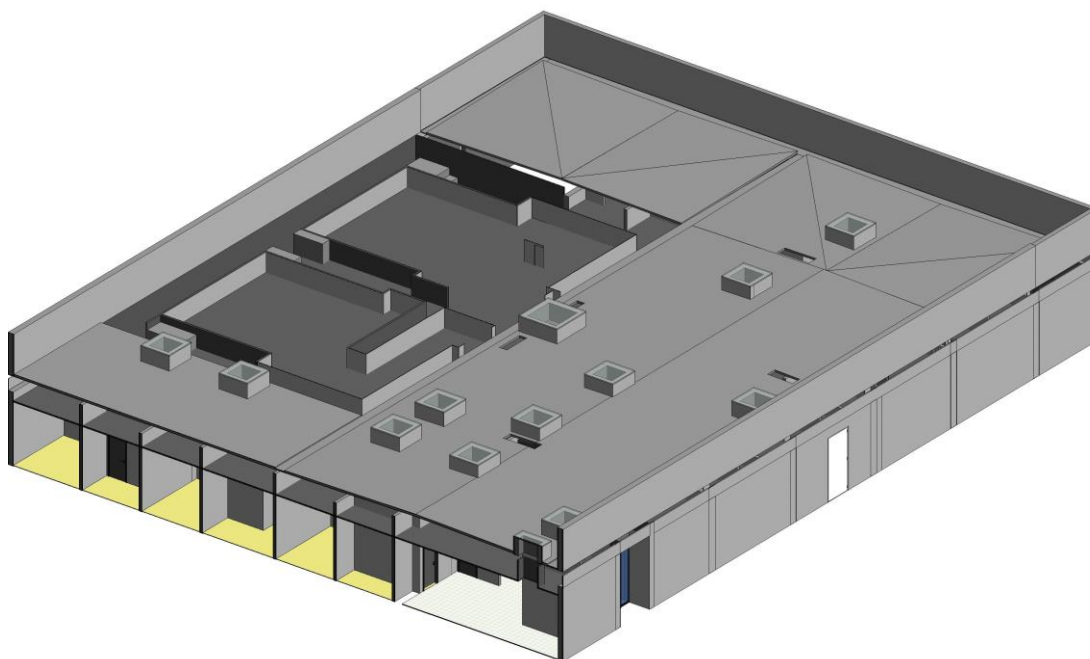
**Figura 33** – Vista de Recorte dos *Bunkers*.

### 3.3 Arquitetura

A modelação da Arquitetura foi feita no modelo das estruturas, o que permitiu fazer a coordenação desta especialidade diretamente no modelo salvaguardando tempo na coordenação dos projetos.

Na modelação desta especialidade foram tidos em conta o máximo de elementos presentes nas peças escritas e desenhadas compondo o modelo 3D.

Na Figura 34 estão visíveis alguns dos elementos modelados, nomeadamente desde a cobertura ao piso: as clarabóias, muros da cobertura, Revestimento da cobertura, teto falso, paredes exteriores e interiores, portas (interiores e exteriores) e acabamentos dos pavimentos, entre outros.

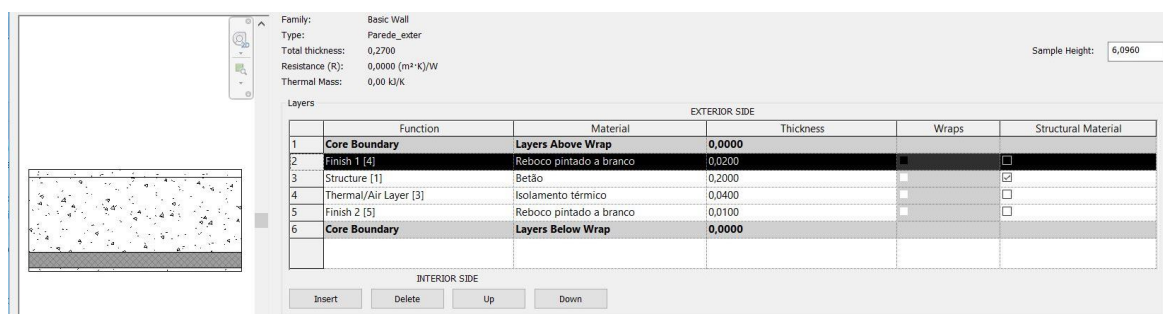


**Figura 34** – Vista 3D recortada da especialidade de Arquitetura.

Cada um destes elementos foram modelados com um nível de detalhe LOD de 350, tentando dar o máximo de informação da composição dos elementos.

A título de exemplo, apresenta-se o detalhe para um tipo de parede exterior designada de “Parede\_exter” representado na Figura 35.

O sistema construtivo da parede é composto por quatro camadas: uma camada externa e interna de “Reboco pintado a branco” de 2 cm de espessura, uma camada isolamento térmico com 40 mm e a camada estrutural de betão com 20 cm de espessura.



**Figura 35** – Exemplo da composição de uma parede exterior associada ao seu nível de detalhe.

### 3.4 Especialidades MEP

Depois de se ter modelado as especialidades de (1) Estruturas e (2) Arquitetura modelou-se as especialidades de (3) MEP.

Dentro das especialidades MEP compreenderam-se a modelação das seguintes redes:

**1. Instalações e equipamentos de águas e esgotos:**

- (a) As redes de abastecimento água – redes de distribuição e redes de retorno de água fria e água quente sanitária, redes de incêndio e equipamentos sanitários, ao longo de todo o edifício;
- (b) As redes de drenagem – de águas residuais que compreendem todo o edifício, e as redes de drenagem de águas pluviais que cobrem a drenagem da cobertura, drenagem das zonas técnicas, drenagem de águas freáticas e de condensados. Todos os equipamentos de drenagem foram modelados, e serão devidamente explicados mais a frente;

**2. Instalações e equipamentos mecânicos:**

Estas instalações compreendem toda as redes de hidráulica e aerólica do edifício, os equipamentos mecânicos que alimentam, assim como as redes de drenagem dos equipamentos e efluentes.

### **3.4.1 Análise de incompatibilidades: 2D CAD vs. 3D**

Ao traçar as primeiras redes desta disciplina houve perceção de algumas incompatibilidades com as outras especialidades e omissões de projeto.

Ficou, assim, perfeitamente clara a utilidade e importância do uso do BIM, com a eliminação de problemas e conflitos, logo na fase de projeto, que mais tarde se traduziriam em perda de tempo e custos.

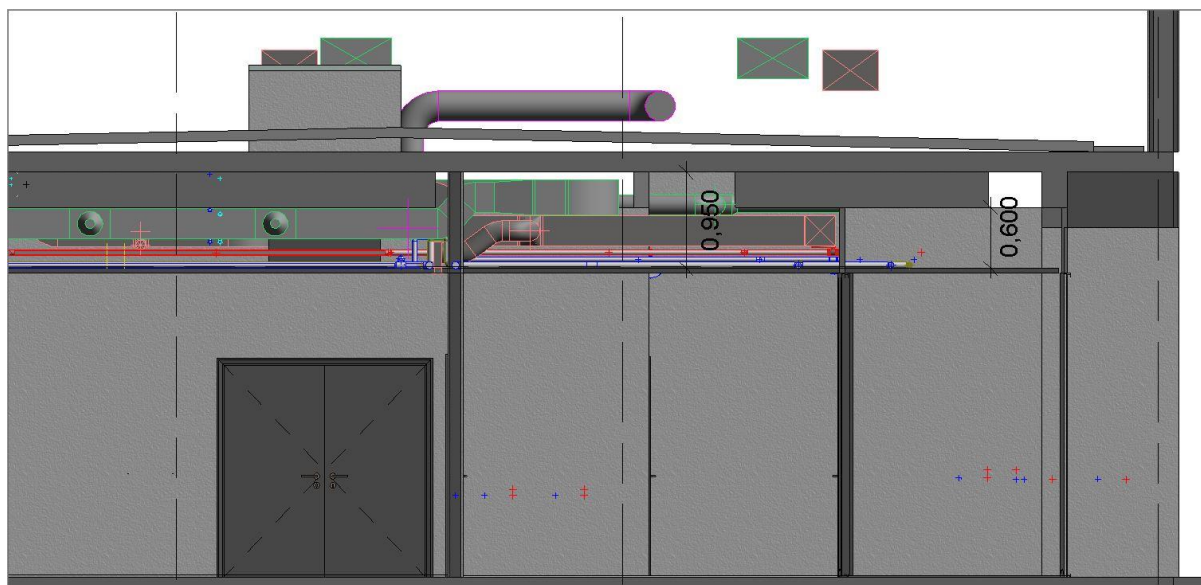
As peças desenhadas e escritas não continham informação das cotas das redes, sendo que só havia pormenores dos equipamentos e o traçado das redes em planta.

Com ajuda das especialidades de estruturas e arquitetura modeladas previu-se e apresentou-se uma solução para o desenvolvimento destas tubagens. Esta solução consistiu no desenvolvimento das tubagens em altura (por defeito) e a alteração do seu traçado usufruindo o espaço máximo existente para colocação de tubagens.

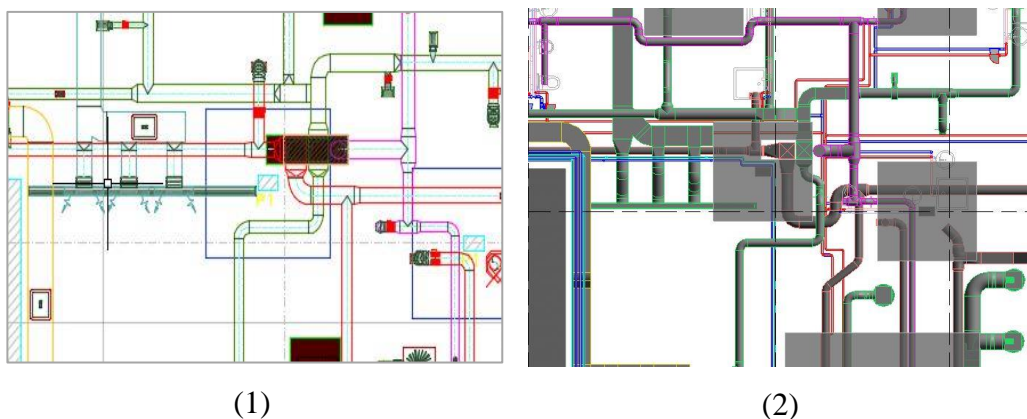
O espaço livre para colocação das tubagens e condutas estava delimitado entre os elementos estruturais (laje e capitéis) e o teto falso. Este espaço pode então ser dividido em duas zonas: (1) zona com capitéis e (2) zona sem capitéis (livre), compreendida entre o limite interior do teto falso e a laje da cobertura (95 cm de espaço total). As zonas com capitéis contém 60 cm livres para passar tubagens que resulta da subtração do espaço total à espessura dos capitéis (35 cm), ver Figura 36.

A modelação das redes foi feita caso a caso, para cada zona onde havia um capitel, pois em algumas zonas de capitéis havia a passagem de mais que uma conduta de AVAC e tubagens hidráulicas (exemplo da Figura 37 – (1)).

Nos casos em que haviam, por exemplo, duas condutas com 350 mm de espessura em zonas de capitéis fez-se pequenos desvios dessas redes para zonas sem capitéis adjacentes ver Figura 37 – (2), de modo a que não houvessem colisões.



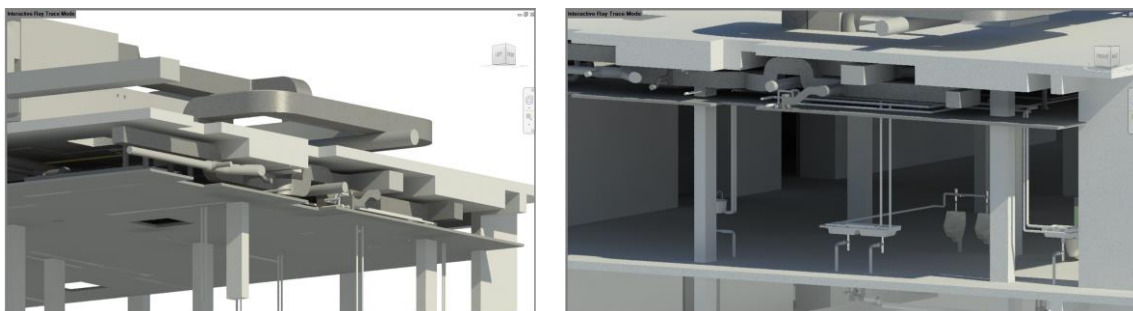
**Figura 36** – Alturas livres para as zonas com capitéis e sem capitéis.



**Figura 37** – Exemplo de desvio de cruzamentos de condutas em zonas de capitéis: (1) Traçado em planta 2D CAD; (2) Traçado em planta do modelo 3D.

A Figura 38 exemplifica a compatibilização individual feita para este caso particular dos capitéis com as redes MEP visto de duas perspetivas.

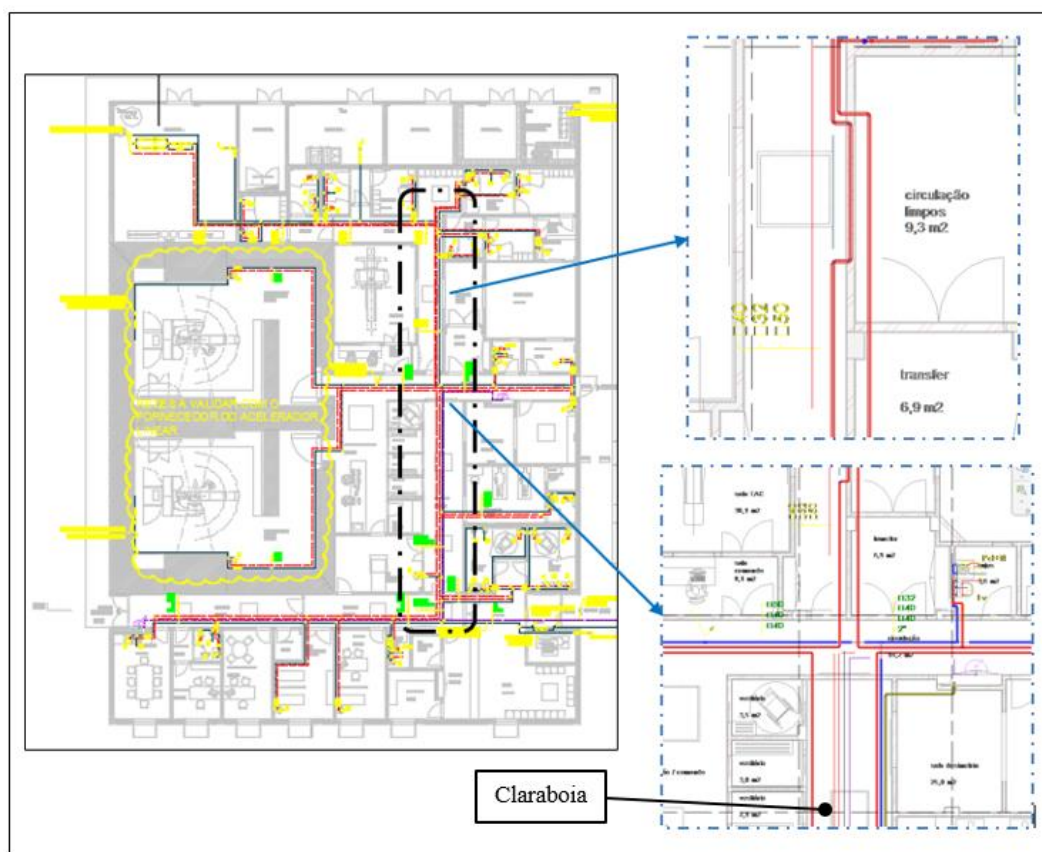




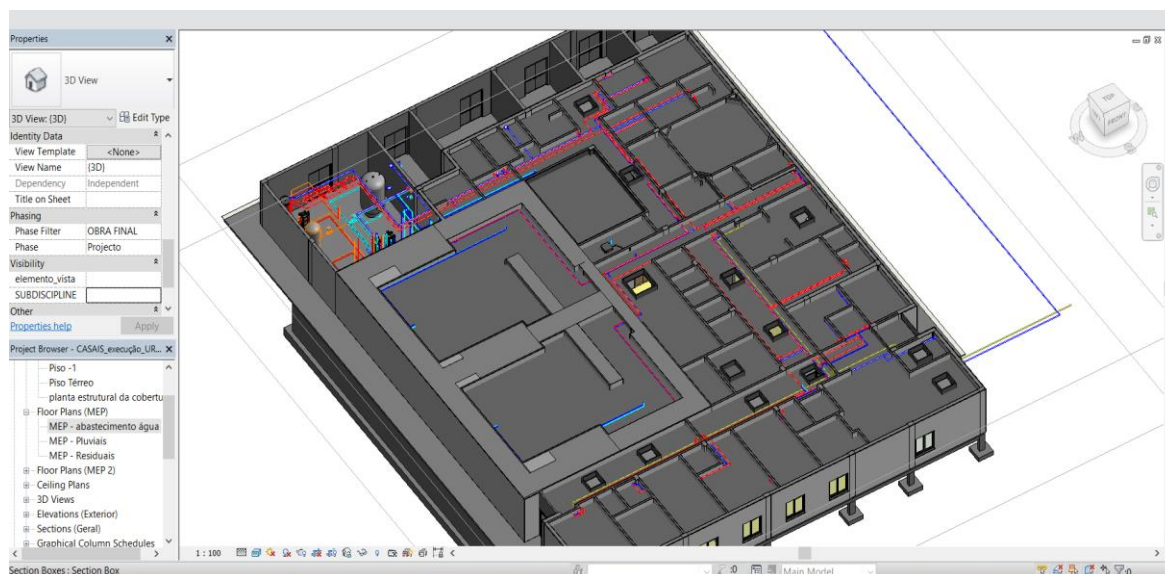
**Figura 38** – resultado da compatibilização dos capitéis com as redes.

Incompatibilidades do traçado das redes de abastecimento de água com Arquitetura:

Pela análise das plantas CAD 2D foi possível observar que o traçado das tubagens de abastecimento cruzava no plano visual das claraboias (ver Figura 39 lado esquerdo). A solução passou por fazer um desvio destas redes explicada na Figura 39 no lado direito que resulta na solução 3D da Figura 40.



**Figura 39** – Identificação de incompatibilidade entre a arquitetura e as redes (à esquerda) e desvio das redes no Revit vista em plana (à direita).

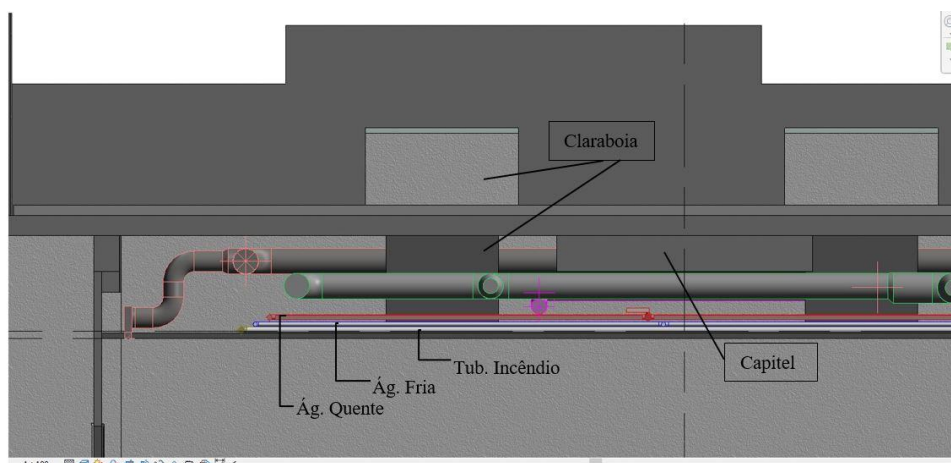


**Figura 40** – Vista da compatibilização em 3D.

O estudo das incompatibilidades de projeto foi feito não só pela análise visual, mas também com a ajuda do *software* de análise de conflitos, *Solibri Model Checker*, para o caso da colisão das redes com os capitéis das estruturas.

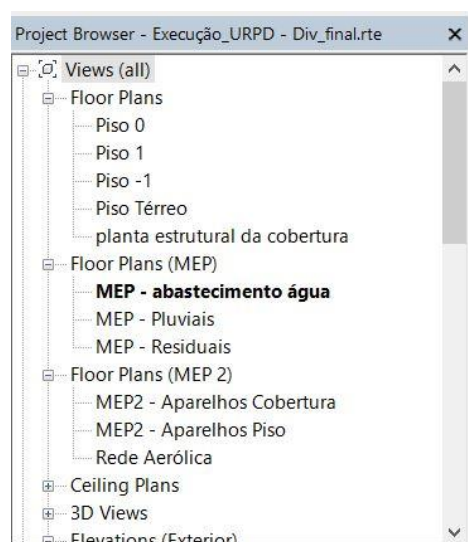
### 3.4.2 Modelação das Redes

A Figura 41 ilustra a estratégia considerada na modelação das redes MEP, em que primeiro se optou por colocar as tubagens de água o mais junto possível do teto falso, em que cada camada representa um tipo de abastecimento de água (ver na Figura 41 três camadas de tubagem de abastecimento) e as redes de AVAC modeladas em cima limitadas pelos capitéis, e pela laje nas zonas fora de capitéis.



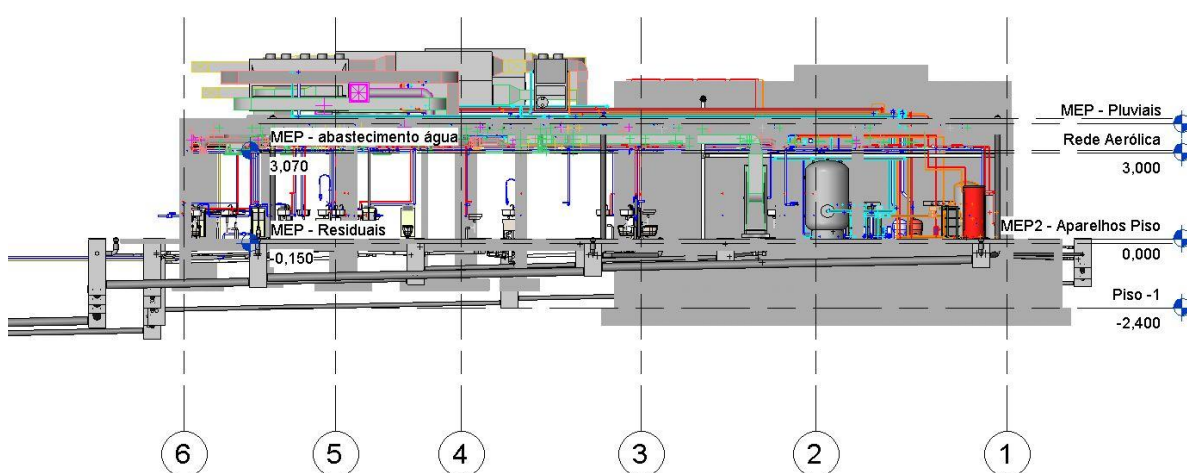
**Figura 41** – Esquema da organização da modelação MEP.

No *software Revit*, tal como para as estruturas, foram definidos níveis de apoio à modelação das mecânicas, denominados também de *Floor Plans*. Na Figura 42 apresenta-se a representação desses níveis de apoio a modelação MEP divididos em dois tipos, “*Floor Plan: MEP*” e “*Floor Plan: MEP 2*”, nomeadamente para as redes de abastecimento e drenagem de água e para as redes AVAC (aerólica e hidráulica).



**Figura 42** – Planos de vista definidos para o projeto de instalações.

A Figura 43 ilustra as elevações destes níveis num dos alçados do modelo, filtrado só para as disciplinas de MEP e a estrutura como base da sua localização.



**Figura 43** – Níveis descritivos dos planos de vista.

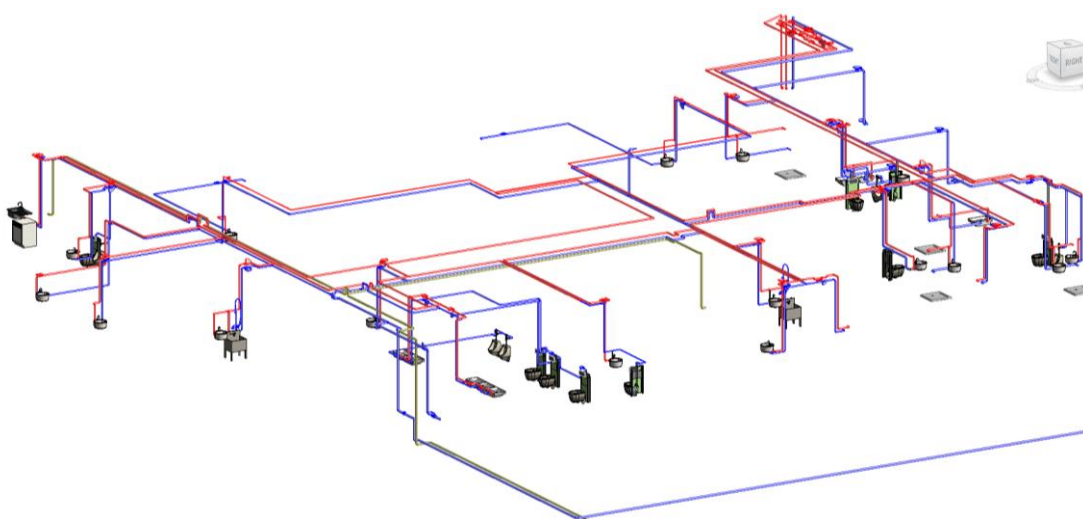
- **Redes de Abastecimento de água**

A modelação das redes de abastecimento de água foi associada ao nível “MEP-abastecimento de água” da Figura 44.

Na Figura 41 estão presentes os três tipos de tubagem de abastecimento que foram modeladas: (1) incêndios, (2) água fria e (3) água quente, por camadas.

As tubagens da rede de incêndio ocuparam a primeira camada, seguida da tubagem da rede de água fria e por fim a tubagem da rede de água quente, tendo tido o cuidado desta rede estar afastada pelo menos de 6 cm das restantes redes de águas e respetivas tubagens.

Além das redes foram modelados, todos os objetos e/ou recorrendo a livrarias de objetos, relacionados com as redes, como os equipamentos sanitários, contadores e válvulas que complementam estas redes, resultando no modelo da Figura 44.



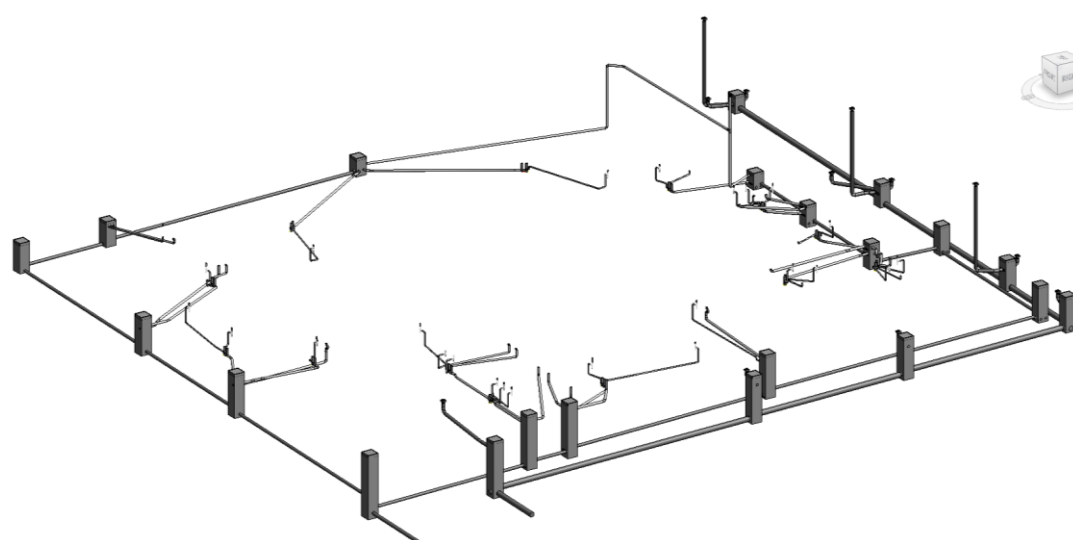
**Figura 44** – Modelo 3D das redes de abastecimento de água e equipamentos sanitários.

- **Redes de drenagem de águas residuais e pluviais**

Na modelação das redes de drenagem das águas residuais e pluviais teve-se o cuidado de modelar todas as suas componentes e ligá-las compondo o modelo da Figura 45.

Esta modelação, consiste de um caso particular, pois tornou-se muitas vezes complicado ligar as várias tubagens (ramais de drenagem individuais, não individuais e coletores) com

inclinações mínimas de 2% entre elas e com todos os restantes elementos que as suportam, como as caixas de visita, as caixas de pavimento, ralos e outros objetos como os equipamentos sanitários.

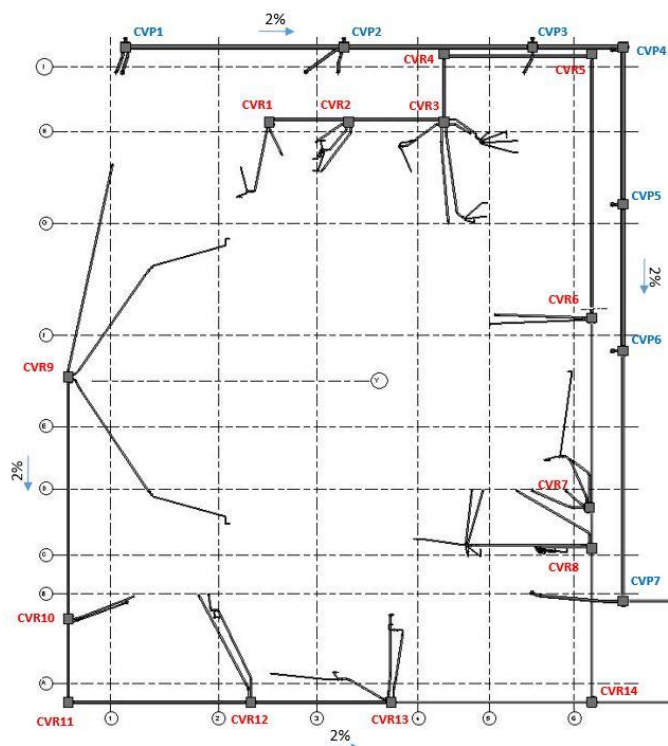


**Figura 45** – Modelo 3D das redes de drenagem e saneamento (residuais e pluviais)

Dada a especificidade das caixas de visita em que varia a entrada e saída dos coletores, o número de ramais e a sua dimensão em altura, foram modeladas todas as caixas de visita para este caso prático.

A numeração das caixas de visita, foi retirada das peças desenhadas do projeto, numeração esta que está ordenada de acordo com o seu funcionamento, no sentido da escorrência das águas com 2% de inclinação entre os coletores que as ligam, ver Figura 46.





**Figura 46** – Numeração das caixas de Visita

Para a modelação destas caixas calcularam-se as cotas de entrada e saída dos ramais de ligação e dos coletores.

Essa informação encontra-se na Tabela 5 reduzida, as Tabelas completas encontram-se em Anexo.

A cota de entrada dos ramais foi retirada da informação de cada tubagem modelada com um comprimento traçado no modelo e uma inclinação não inferior a 2%, calculada através de uma fórmula de estimativa (presente juntamente nas tabelas em Anexo), determinou-se as cotas de saída dos coletores de diâmetros de 150 mm para os coletores das águas residuais e de 250 mm para as águas pluviais.

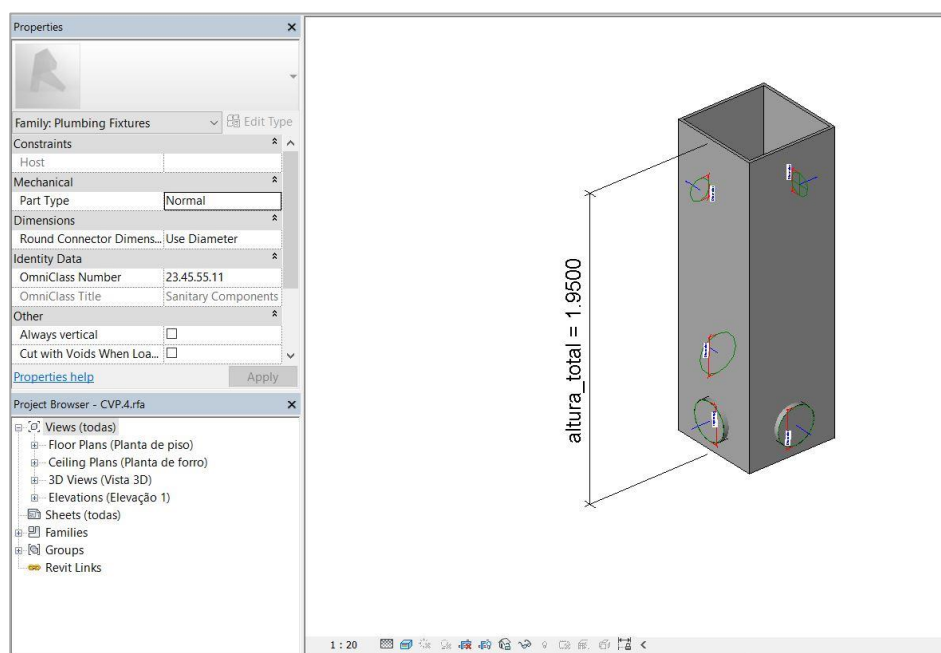
As cotas retiradas do modelo foram associadas ao plano “MEP - Residuais”.

O mesmo procedimento foi elaborado para as caixas de visita das águas pluviais, encontrando-se a informação associada ao plano “MEP - Pluviais”.

**Tabela 5** – Tabela de cálculo das cotas das caixas de visita e as suas dimensões.

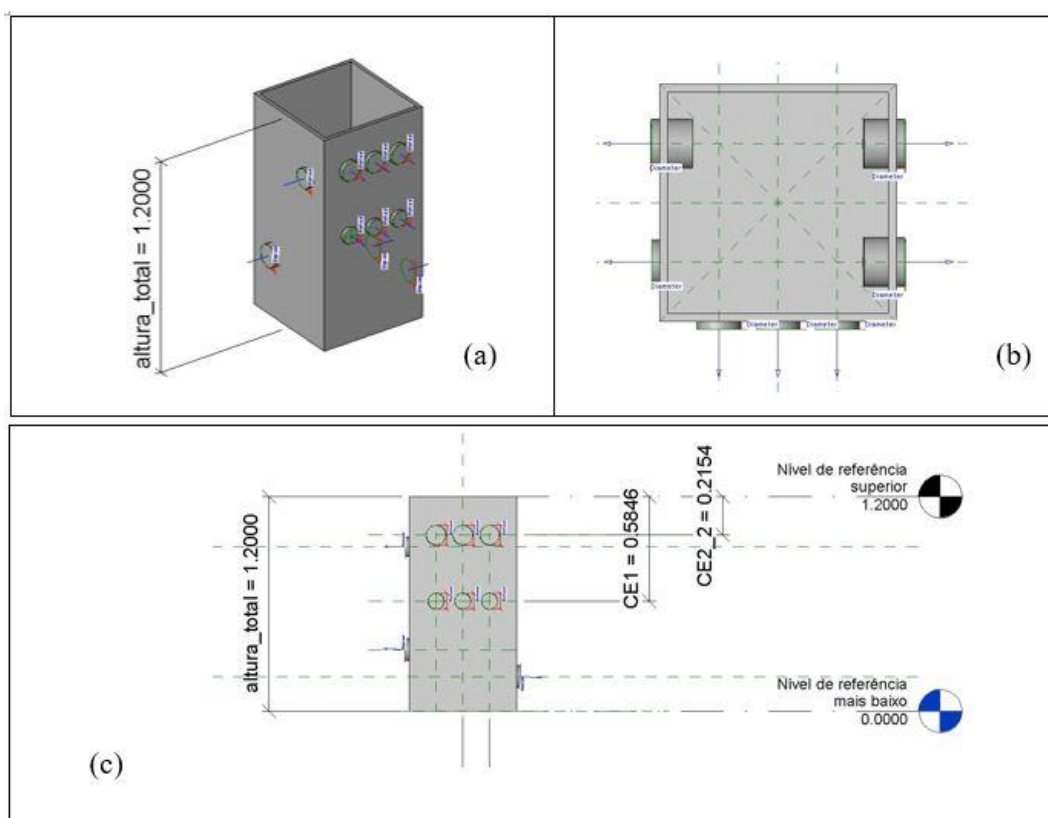
Nº Caixa de visita	L (m)	Nº Entradas dos ramais	Diâmetro (mm)	Cotas de Entrada dos coletores (m)	Cotas de Saída dos coletores (m)	Profundidade da caixa (m)
1	4,3120	1	90	-0,4712	-0,6212	0,8000
		2				
2	5,3630	1	125	-0,7074	-0,8574	1,2
		2	110	-0,1287		
		3	90	-0,4346		
		4	110	-0,0654		
3	3,4610	1	125	-0,9647	-1,1147	1,3
		2	90	-0,4339		
		3	110	-0,2045		
		4	90	-0,4914		
		5	110	-0,1158		
		6	90	-0,4268		
4		1	125	-1,1839	-1,3339	
5	8,9450	1	125	-1,5128	-1,6628	
6	15,6910	1	125	-1,9766	-2,1266	
		2				
		3				
		4	50	-0,2513		
	11,1800					
7	1,9498	1	125	-2,3502	-2,5002	3,0
		2	110	-0,1431		
		3	90	-0,4587		
		4	110	-0,1158		
		5	110	-0,1541		
8	8,9009	1	125	-2,5392	-2,6892	
		2	110	-0,1981		
		3	90	-0,6308		
		4	90	-0,8166		
14	11,827	1	125	-2,8673	-3,0173	
		2	125	-2,2910		

Como exemplo apresenta-se na Figura 47 a caixa de visita pluvial nº4 (CVP4) e as propriedades que foram associadas a esta caixa. Neste caso definiu-se este objeto como sendo uma família do tipo “*Sanitary Components*” da OmniClass.

**Figura 47** – Modelação paramétrica das caixas de visita.

A Figura 48 mostra os parâmetros definidos para a modelação paramétrica deste objeto e o seu nível de desenvolvimento em três vistas diferentes para a caixa de visita residual 2 (CVR2).

Estas relações paramétricas foram determinadas através da Tabela 5 para cada caixa e foram no total modeladas 14 caixas de visita residuais e 7 caixas de visita pluviais, esboçadas na Figura 46 e visíveis no modelo 3D da Figura 45.



**Figura 48** – Parametros utilizados para a modelação dos objetos “caixas de visita”.

Estas caixas de visita apresentam um LOD de 400, assim como a maioria dos equipamentos presentes nesta especialidade. As tubagens estão modeladas com um LOD 300 a 350, medidos a partir das especificações da BIM Forum (BIM Forum, 2013, 2016).

- **Redes de AVAC (aerólíca e hidráulica) e Equipamentos**

A modelação das redes de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) deste caso prático podem ser entendidas em dois grandes grupos: **(1)** rede hidráulica de abastecimento dos equipamentos mecânicos e **(2)** redes aerólícas.



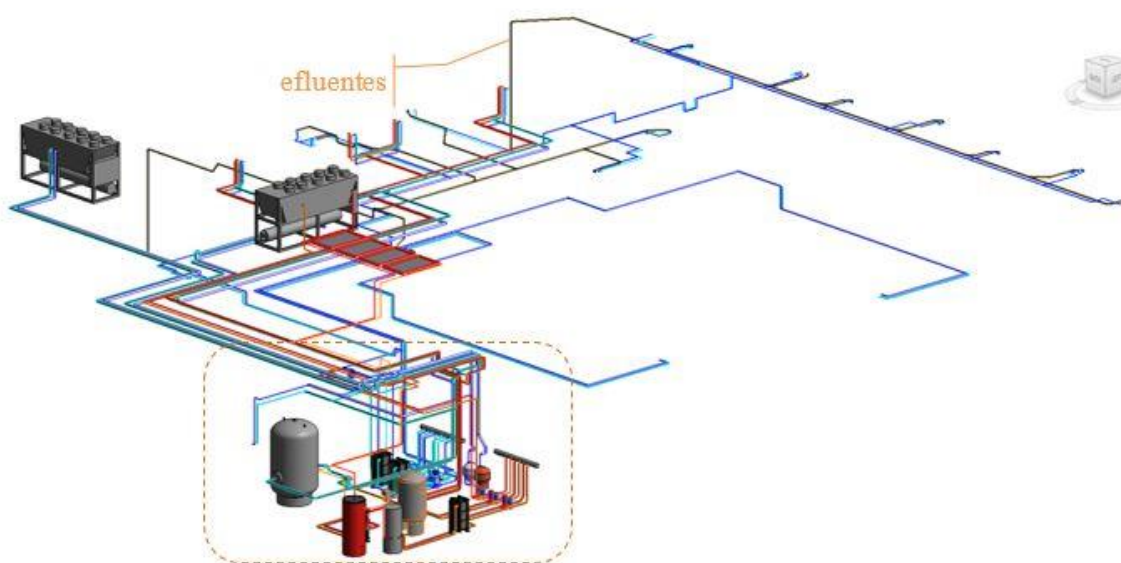
Dentro das redes hidráulicas foram também modeladas as redes dos efluentes dos Ventiladores Conectores (VC).

A modelagem destas redes obedeceu às plantas das peças desenhadas explicativas que serviram de máscara para o modelo 3D destas componentes, dividindo a modelação em duas partes na sua localização: (1) redes da cobertura e (2) redes do piso (além da divisão de hidráulicas e aerólicas).

- **Rede Hidráulica e drenagem dos efluentes**

Na Figura 49 apresenta-se o resultado da modelação total das redes hidráulicas e efluentes (da cobertura e do piso).

O conjunto de tubagens e equipamentos mecânicos assinalados a tracejado na Figura 49 compõe a sala técnica do edifício.

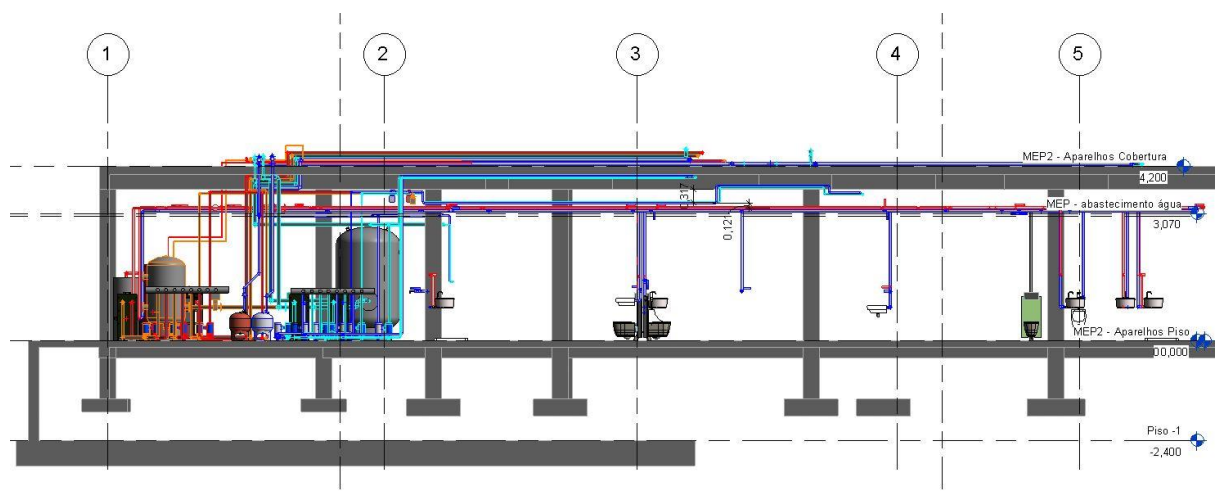


**Figura 49** – Vista 3D da rede hidráulica e equipamento mecânicos.

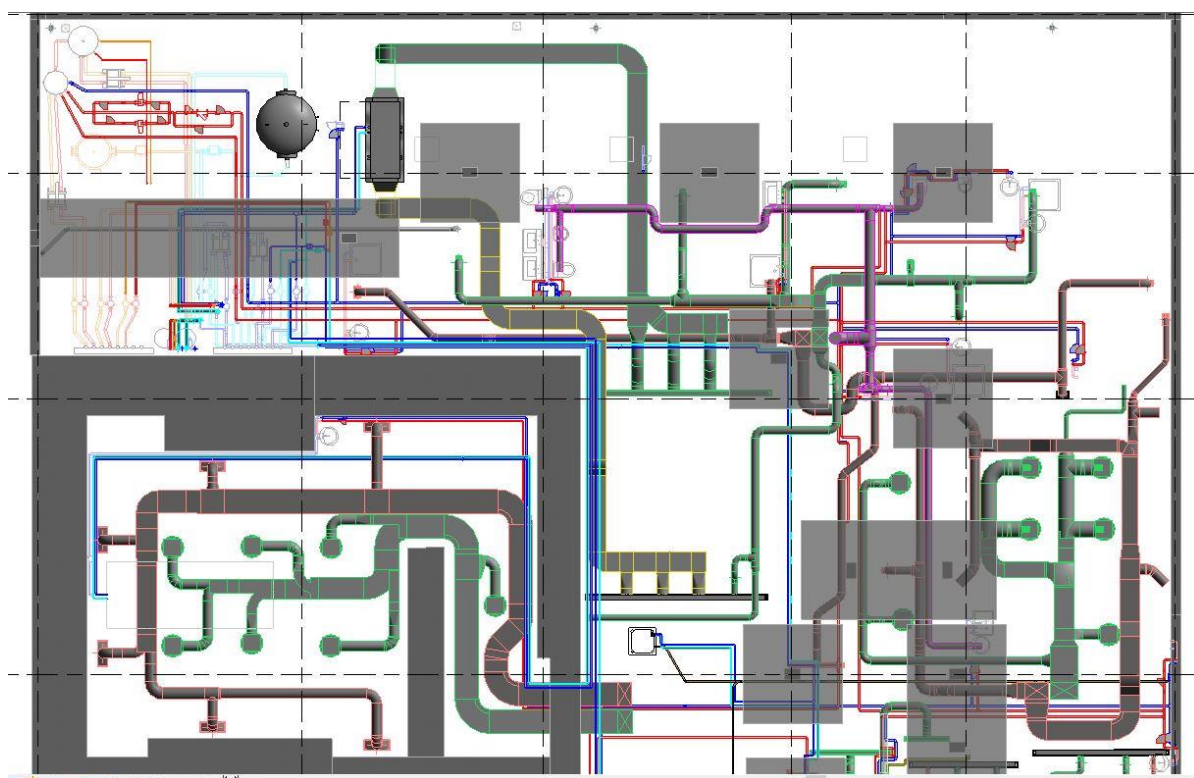
A compatibilização destas tubagens com as já existentes de abastecimento foi feita em planta e em corte.

Em corte foram colocadas em camadas superiores a estas tubagens com um afastamento de aproximadamente 12 cm em altura e colocadas a aproximadamente 32 cm da laje da cobertura (ver Figura 50).

Em planta verificou-se que estas redes passassem sempre ao lado das de abastecimento (ver Figura 51), para evitar problemas de condensações ao se sobrepor com as tubagens de abastecimento de água quente.



**Figura 50** – Distribuição das redes hidráulicas vistas em corte.

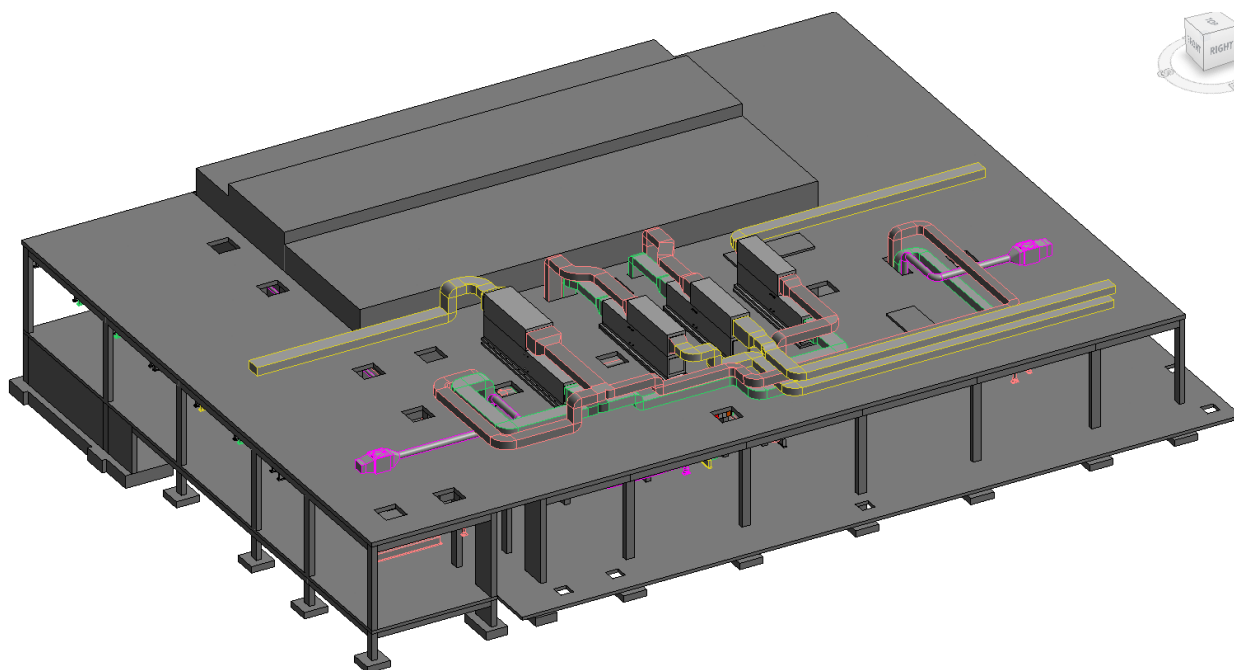


**Figura 51** – Distribuição das redes hidráulicas em planta.

- **Rede Aerólica**

Estas redes repartem-se essencialmente em três tipos no tratamento do ar novo: (1) insuflação, (2) extração e (3) retorno.

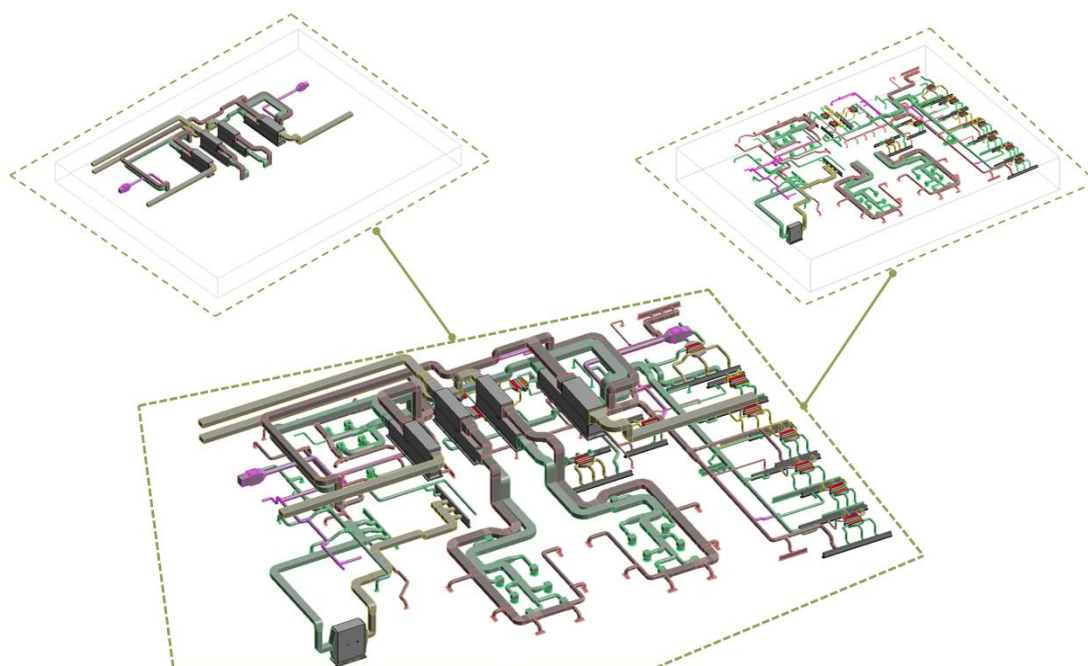
Primeiro foram modeladas as condutas da cobertura e a sua ligação aos equipamentos mecânicos, no qual as condutas de insuflação foram representadas a verde, as de retorno a amarelo e as condutas de extração a vermelho, tal como estão representadas na Figura 52.



**Figura 52** – Vista 3D da estrutura com rede aerólica da cobertura-

Depois de modeladas as redes aerólicas da cobertura, modelou-se as redes a nível do piso, originando no modelo completo da Figura 53 destas redes.

É possível ainda ver na Figura 53 a divisão da modelação nos dois sub-conjuntos: (1) rede da cobertura no canto superior esquerdo e (2) rede do piso no canto superior direito.



**Figura 53** – Esquema ilustrativo da divisão da rede aerólica que serve a cobertura e o piso.

### 3.5 Modelos de Vista

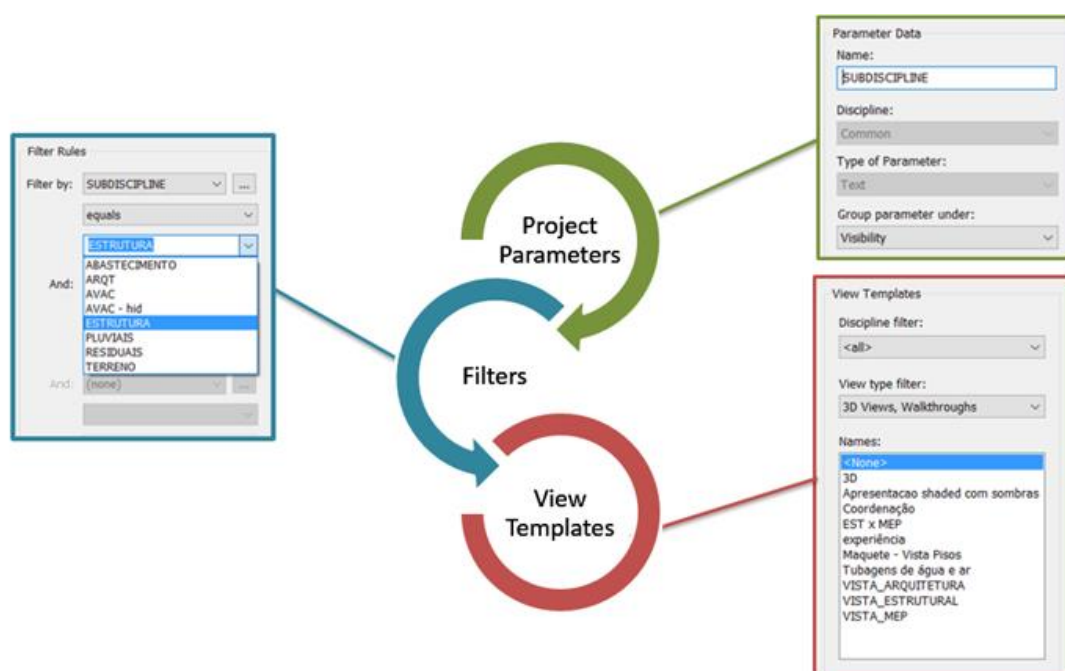
Finalizada a modelação 3D do edifício houve a necessidade de criar modelos de vista para que se pudesse selecionar e visualizar apenas os objetos pretendidos para cada especialidade, de modo a facilitar a coordenação do modelo e a correção das incompatibilidades do mesmo (Passo 2 da metodologia apresentada em 3.1).

A criação de vistas no *Revit* foi elaborada em três passos presentes na Figura 54.

Em primeiro lugar criou-se ‘*project parameters*’ do tipo texto (parâmetro “*subdiscipline*”) inserido no grupo ‘*visibility*’ do *Revit*.

Depois atribuíram-se filtros ‘*filters*’ para cada disciplina (ver Figura 55).

Por último, gravaram-se ‘*view templates*’ resultando as vistas de objetos de cada especialidade em baixo (ver Figura 56).



**Figura 54** – Três passos na elaboração dos modelos de vista.

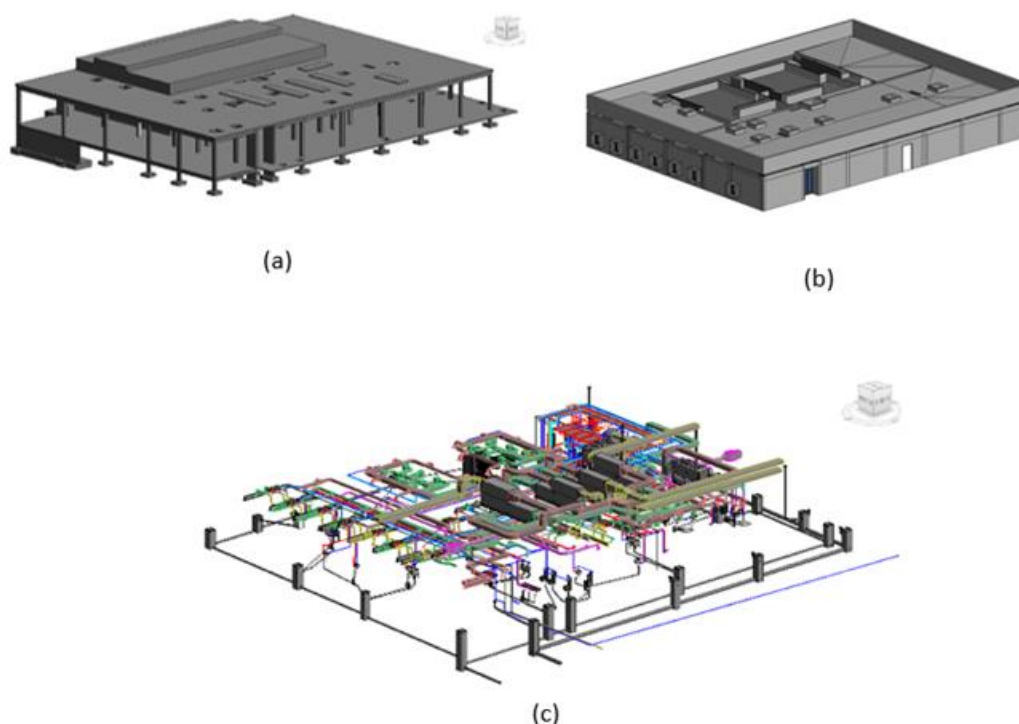
Visibility/Graphic Overrides for 3D View: {3D}

Model Categories Annotation Categories Analytical Model Categories Imported Categories **Filters**

Name	Visibility	Projection/Surface			Cut		Halftone
		Lines	Patterns	Transparen...	Lines	Patterns	
avac	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
equipamento	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Terreno Topográfico	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
TOPOGRAFIA	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
arquitetura	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
residuais	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
pluviais	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
<b>Estruturas</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Override...</b>	<b>Override...</b>	<b>Override...</b>	<b>Override...</b>	<b>Override...</b>	<input type="checkbox"/>
avac hidraulica	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
abastecimento	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Add Remove Up Down

**Figura 55** – Filtros criados no Revit.



**Figura 56** – *View Templates* para as três especialidades em vista 3D.

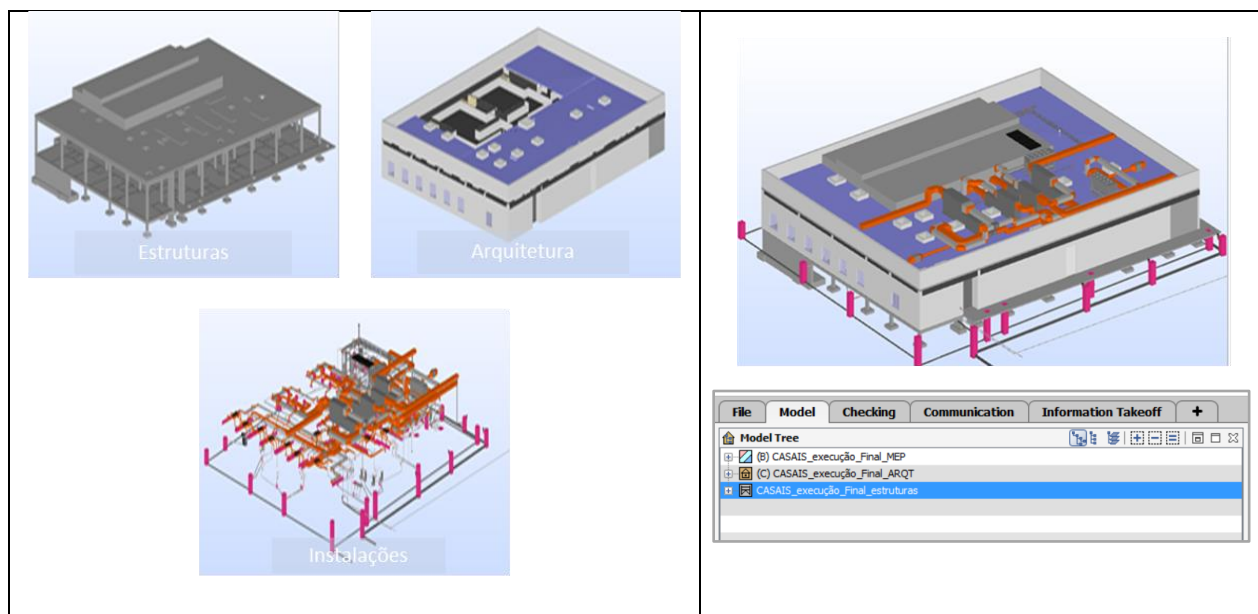
### 3.6 Detecção de Conflitos - *Clash-Detection*

A detecção de conflitos (*clash-Detection*) é relevante no apoio à gestão de obra, pois permite antecipadamente e de uma forma eficaz perceber onde há incompatibilidades, entre todos os elementos envolvidos no processo da construção (importância devido a grande quantidade de objetos/especialidades e dimensão do projeto).

O software usado para detecção das incompatibilidades foi o *Solibri Model Checker* (SMC), da *Nemetschek group*, por se tratar de um software bastante completo, não sendo só um identificador das *clashes* mas um bom gestor dos projetos em ambiente BIM.

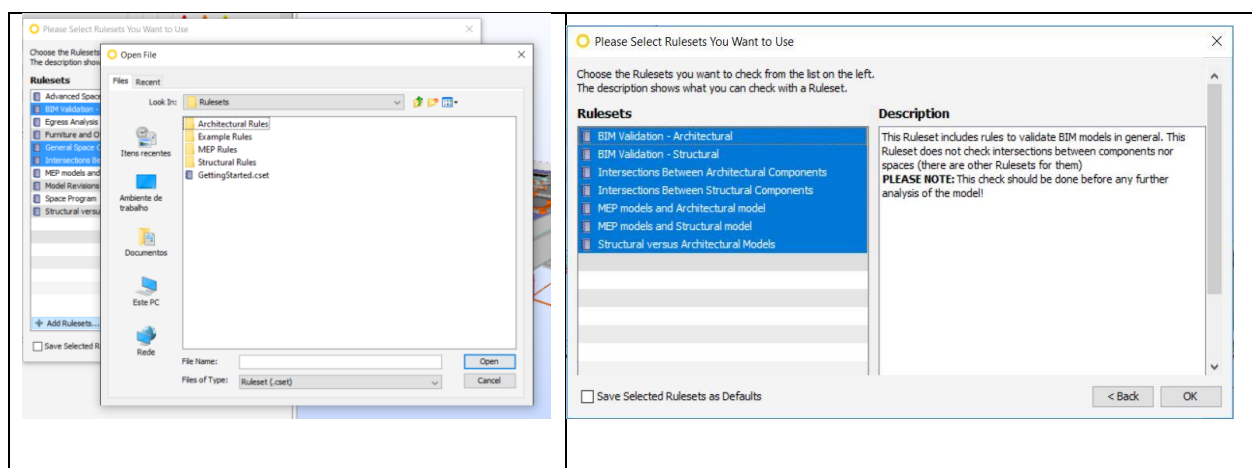
A interoperabilidade entre o *Revit* e o SMC fez-se através de três ficheiros IFC 2x3 (Estruturas, Arquitetura e MEP). A coordenação dos três ficheiros é feita automaticamente no *Solibri* pela atribuição um tipo de serviço a cada ficheiro IFC (ver Figura 57).





**Figura 57** – Coordenação feita no SMC.

A deteção de conflitos é de um processo iterativo entre os software *Revit* e SMC, sendo que as regras de compatibilização encontram-se por defeito nas bibliotecas do *Solibri* em ficheiros (.cset), ver Figura 58. Para se analisar todas as especialidades seleccionou-se as *rulesets* da Figura 59 à exceção das da pasta “*Example Rules*”.



**Figura 58** – Regras usadas para compatibilização BIM.

Baseadas nas regras seleccionadas foram efetuadas análises entre todos os tipos de compatibilidades:

- Estruturas - Estruturas;
- Estruturas - Arquitetura;
- MEP - Estruturas;

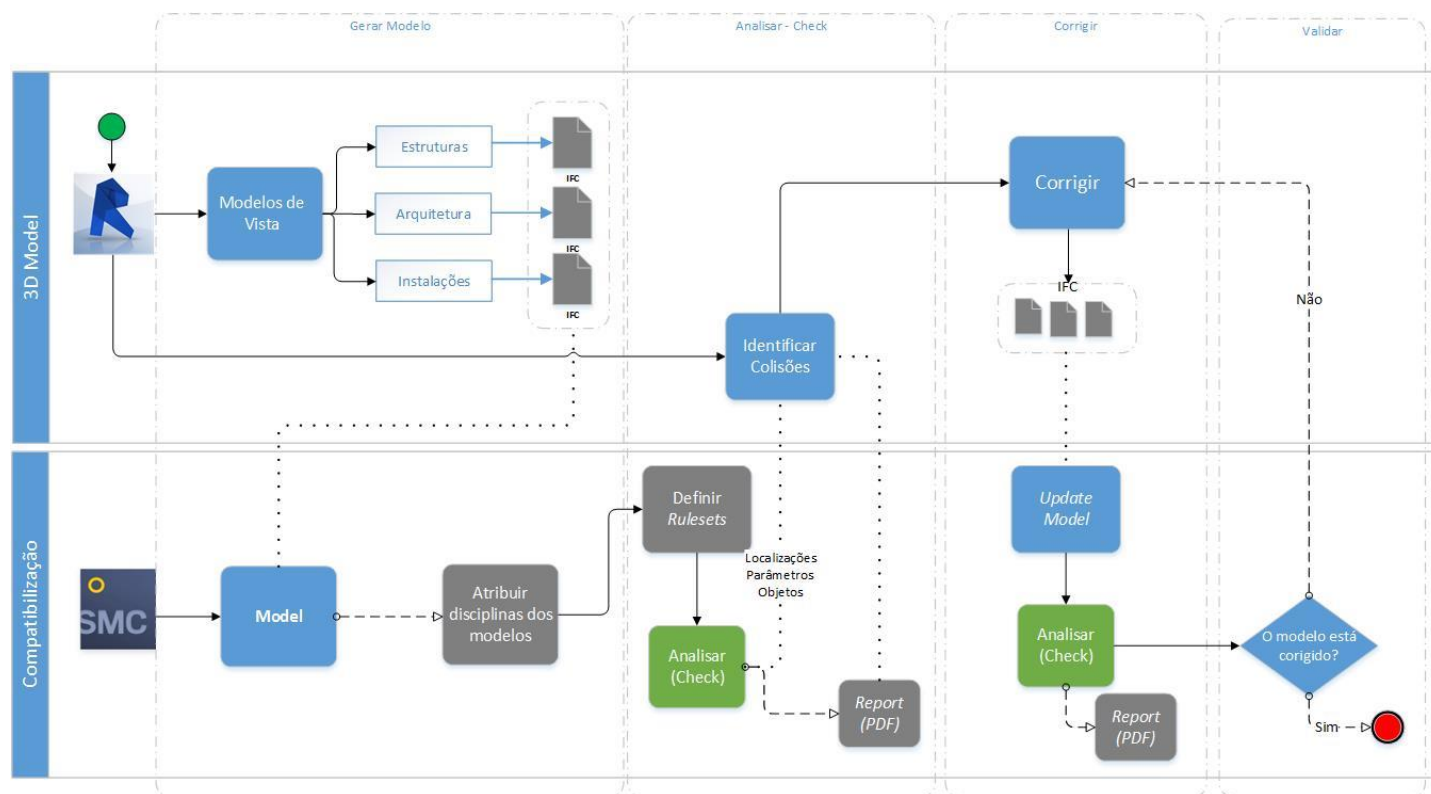
- MEP - Arquitetura;
- MEP - MEP.

O esquema da Figura 59 apresenta o processo iterativo entre o software *Revit* e o *Solibri Model Checker*.

Este processo iterativo consiste em corrigir os conflitos detetados pelo *Solibri* no software de modelação tridimensional e gerar novamente ficheiros IFC para serem analisados, até que não se identifiquem mais erros significativos (resultados aceitáveis).

Para isto, o esquema da Figura divide-se em quatro fases de trabalho: (1) gerar modelo, (2) analisar (*check*), (3) corrigir e (4) validar.

Este processo pode também ser baseado num ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA).

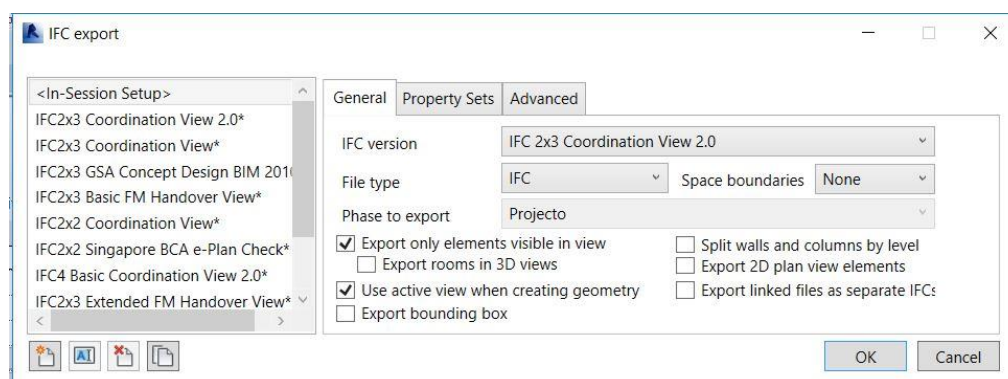


**Figura 59** – Processo iterativo do *Revit* com o SMC.

Os modelos foram exportados do *Revit* através de ficheiros IFC 2x3 com as propriedades presentes na Figura 60.

Além das propriedades visíveis na Figura 60, exportou-se os parâmetros do *Revit* e parâmetros comuns de IFC.



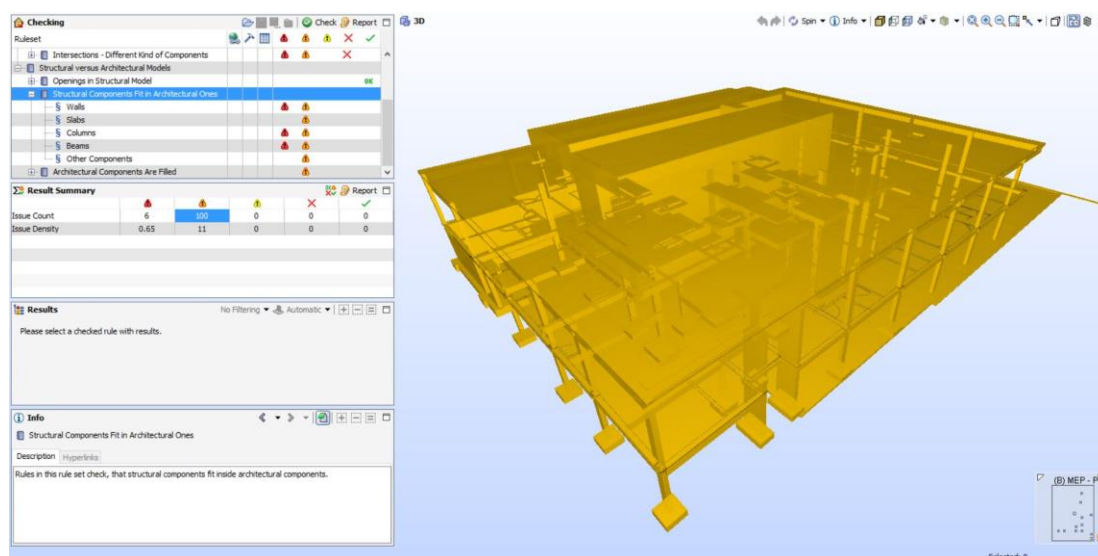


**Figura 60** – Exportação IFC.

As incompatibilidades encontradas pelo SMC são avaliadas em três tipos de gravidade identificadas em três cores: (1) baixa (amarelo), (2) média (laranja) e (3) alta (vermelho).

Neste caso prático foram analisadas todas os tipos de severidade.

Na Figura 61 estão assinalados os erros totais (100) de média severidade para os elementos da estrutura que colidem com os de arquitetura.



**Figura 61** – Ambiente de trabalho no SMC.

O relatório da primeira análise ao modelo feita no SMC registou no total 289 erros de severidade alta, 282 erros de severidade moderada e 0 de baixa severidade (ver Figura 62).

Result Summary					
Issue Count	289	332	49	0	0
Issue Density	35	40	5.9	0	0

**Figura 62** – Relatório geral SMC

Contudo, dentro destas análises alguns erros foram considerados como aceites, ou para serem identificados como negativos nos elementos estruturais.

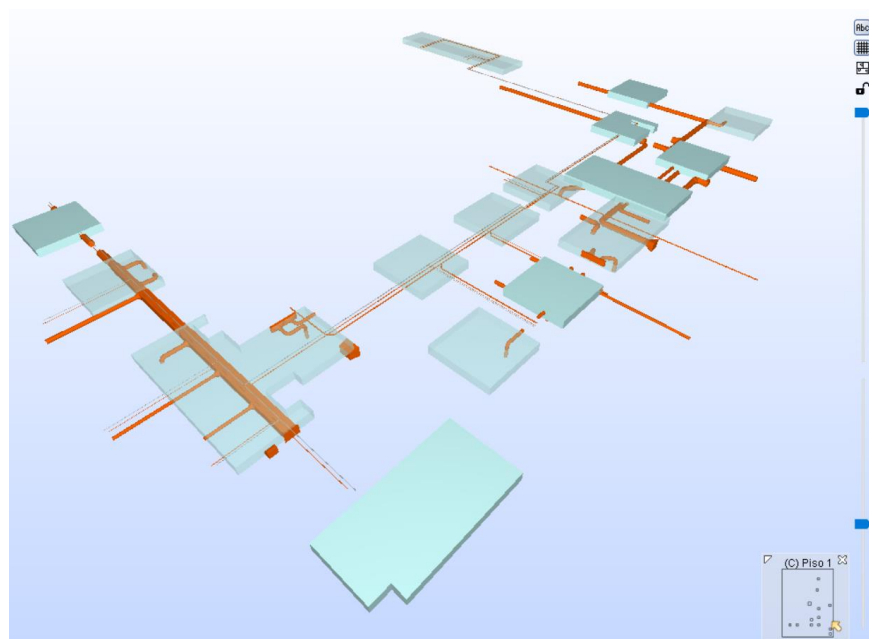
Em particular, algumas *clashes* foram importantes de ser estudadas, como a interseção de condutas de AVAC e tubagens de água com os capitéis estruturais (ver Figura 63), uma vez que apresentam quase metade dos erros detetados com 105 interseções de severidade alta (ver Figura 64).

As interseções com os capitéis foram abordadas nas incompatibilidades CAD 2D e 3D em cima.

Apresenta-se de seguida para este caso a abordagem feita no *Solibri Model Checker* de uma forma detalhada.

A compatibilização entre os capitéis e as instalações limitou-se ao espaço livre existente entre a laje da cobertura e o teto falso (cerca de 90 cm).

Sendo que em alguns casos, nos espaços onde existiam capitéis (35 cm de espessura) houve um desvio das redes para que se pudessem cruzar com os capitéis e os restantes traçados.



**Figura 63** - Detecção e visualização das interseções das condutas com capitéis no SMC.

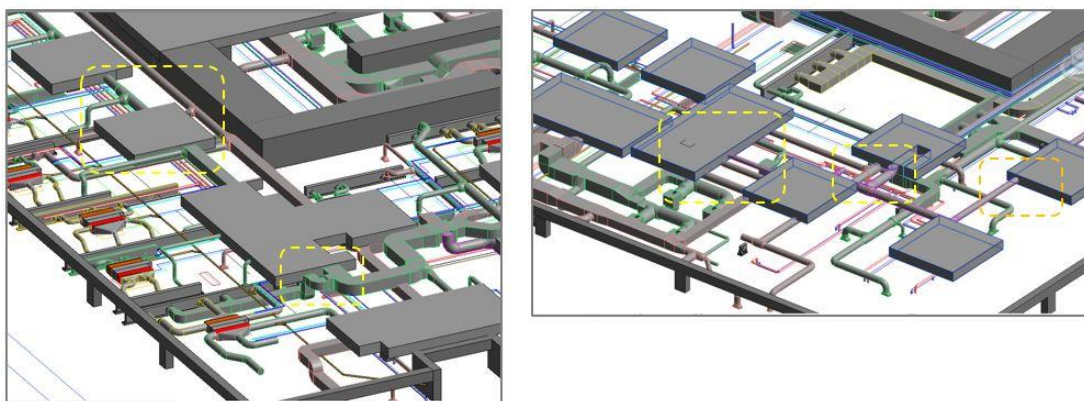
MEP models and Structural model					
Intersections between Building Services and Structural					
Building Services and Beams and Columns (Insulation)					
Building Services and Other Construction Components					
Insulations and Beams and Columns					
Insulations and Other Construction Components					
Distance between Components					
Allowed Intersections In Beams					
Model Revisions Comparison - Building Service					

<b>Σ Result Summary</b>									
Issue Count	105	101	0	0	0				
Issue Density	13	12	0	0	0				

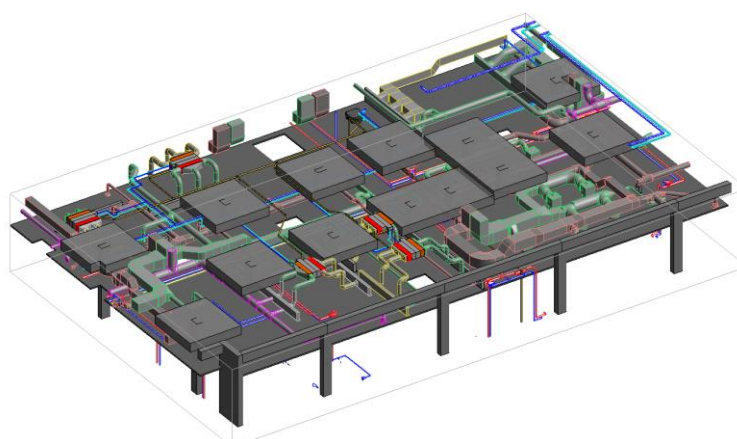
**Figura 64** – Número de interseções entre unidades de serviço e os capitéis.

Depois detetadas as colisões partiu-se para a sua identificação (ver 7) e correção no software de modelação (*Revit*), correspondentes as fases de análise e correção do processo iterativo esquematizado nas Figuras Figura 65, Figura 66 e Figura 67.

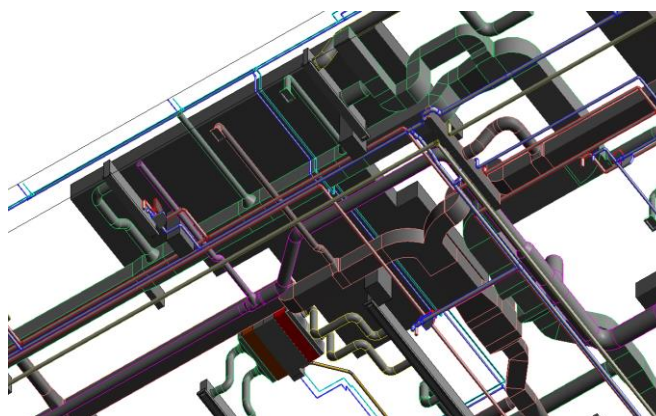


**Figura 65** – Identificação de colisões com os capitéis.

As Figura 66 e Figura 67 mostram o modelo já corrigido no *Revit*, o desenvolvimento das tubagens com os capitéis e outros elementos estruturais num pequeno troço de exemplo e o pormenor da coordenação de um dos capitéis de maior dimensão com as instalações.



**Figura 66** – Coordenação das instalações com os capitéis vista a partir de um pequeno troço.



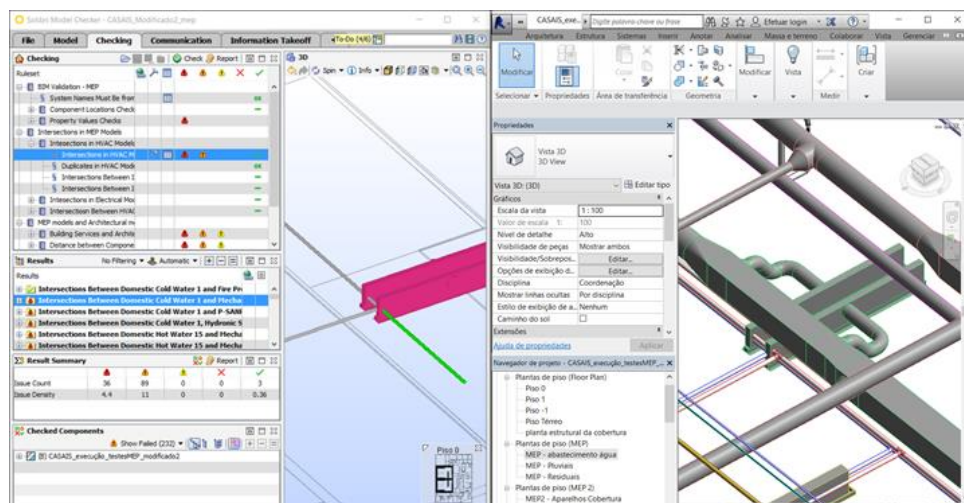
**Figura 67** – Pormenor de vista final solucionada para um capitel de grande dimensão.



Além desta incompatibilidade foram identificadas mais colisões, que serão enunciadas nos tópicos seguintes.

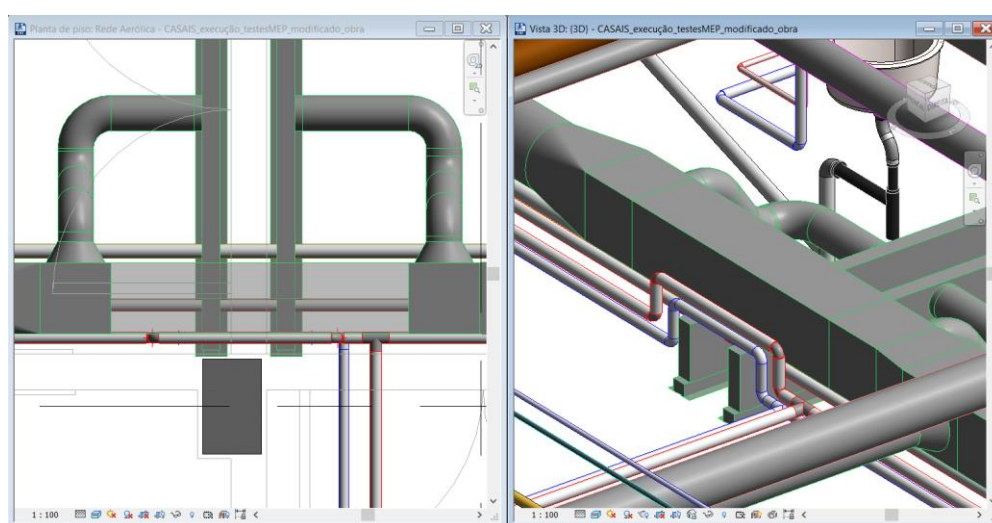
- **Interseção de MEP com MEP**

Apresenta-se na Figura 68 a interseção de tubagens hidráulicas com grelhas lineares de ar no SMC e a sua visualização no RVT do lado direito.



**Figura 68** – Identificação das colisões no SMC e a sua visualização no *Revit*.

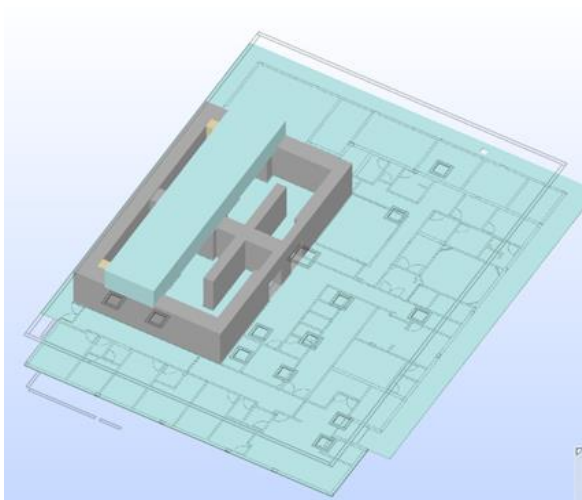
Foi feito o desvio das tubagens de hidráulica por cima das grelhas tal como se pode ver nas imagens da Figura 69. O mesmo foi feito em todas as tubagens que cruzavam grelhas de ar.



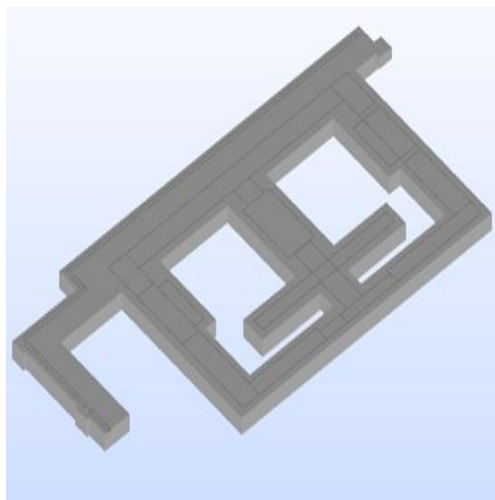
**Figura 69** – Desvio das tubagens de água vista em planta e em 3D no *Revit*.

- **Interseções entre elementos da Estrutura**

No caso da Figura 70 – (a) reduziu-se a altura das paredes estruturais (a amarelo) de modo a não intersestarem com a laje do bunker. A Figura 70 – (b) mostra a sobreposição de elementos da laje com as paredes estruturais. A solução para este problema foi unir os elementos no *Revit* de modo a uniformizar como vários elementos ligados entre si.



(a)

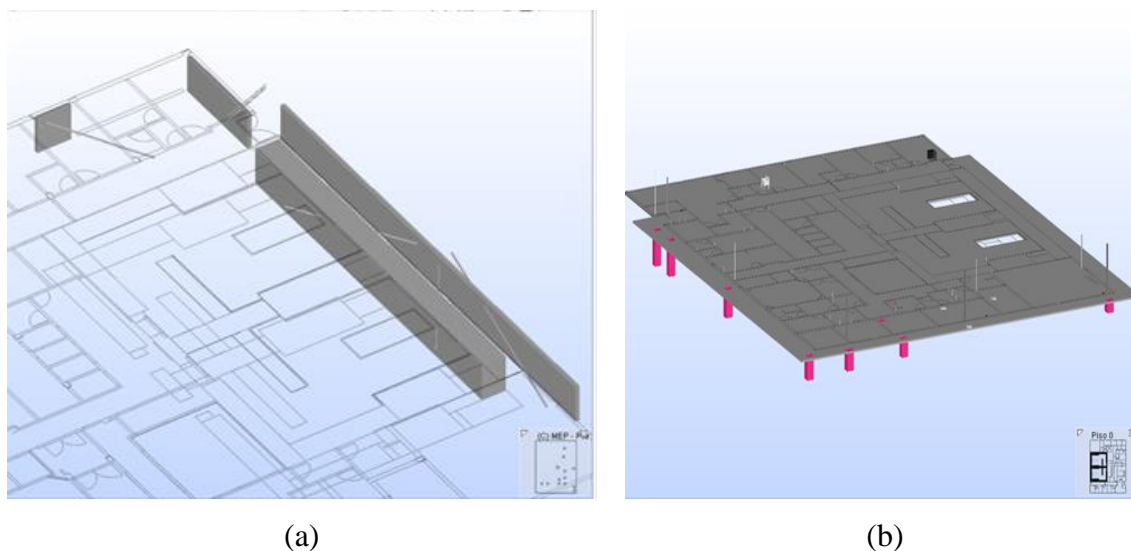


(b)

**Figura 70** - Interseções dos elementos da estrutura.

- **Interseções das Estruturas com MEP a considerar inalteradas para obra**

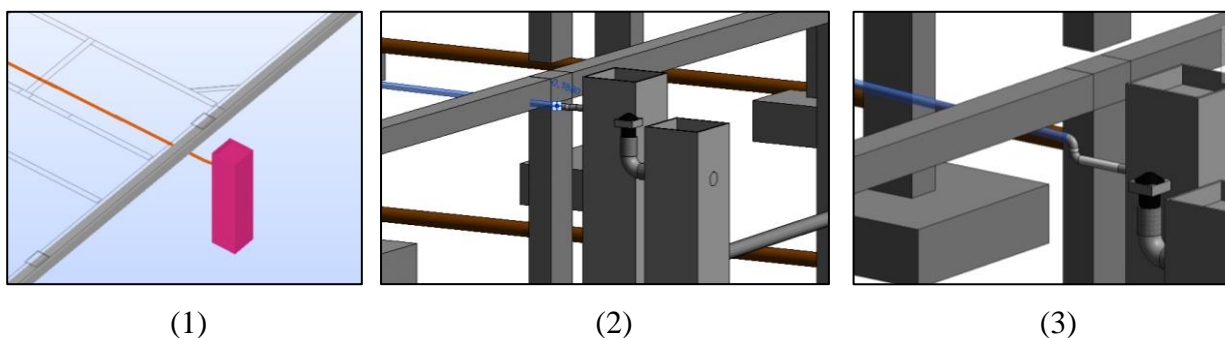
Neste caso estes erros serão desprezados, devendo ser considerados como elementos negativos (colisões da Figura 71).



**Figura 71 - (a) e (b)** apresentam-se colisões entre elementos da estrutura (lajes e muros de fundação) e as instalações MEP.

- **Interseções de Estruturas com MEP a corrigir no modelo**

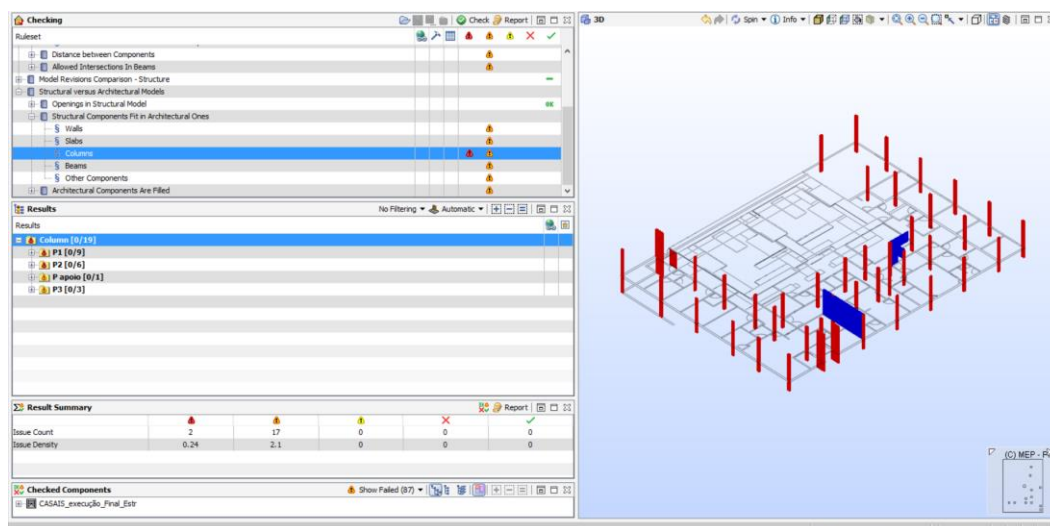
Apesar de algumas interseções de elementos MEP com as estruturas serem para ser identificados como negativos e a manter no modelo, a maioria deles, como por exemplo elementos MEP que cruzam elementos de vigas e pilares estruturais foram corrigidos. O esquema da Figura 72, mostra a detecção da interseção de um coletor com um elemento de viga no SMC (Figura 72 – (1)), a sua identificação no Revit na Figura 72 – (2) e a correção desta interseção na Figura 72 – (3).



**Figura 72 –** Esquema corretivo de interseções MEP com Estrutura.

- **Interseções de Estruturas - Arquitetura**

Como exemplo deste tipo de colisões apresenta-se na Figura 73 a colisão de paredes de arquitetura em pilares estruturais.



**Figura 73** – Colisão de paredes de arquitetura com pilares.

Para a sua correção desuniram-se os pilares destes elementos ou utilizou-se uma ferramenta no *Revit* para definir a ligação de parede como independente.

- **Interseções MEP – Arquitetura**

Um exemplo de interseção das especialidades MEP com Arquitetura é o caso de condutas e Equipamentos de AVAC a interseção o teto falso.

A sua correção foi igualmente solucionada por desviar esses elementos do teto falso, contudo, este foi considerado uma colisão de baixa/média severidade.

- **Relatórios SMC**

De modo a guardar a informação em modo de relatório, o SMC permite de uma forma automática criar um PDF estruturado com elementos de texto e tabelas identificativas das colisões do Modelo.



## CAPÍTULO 4

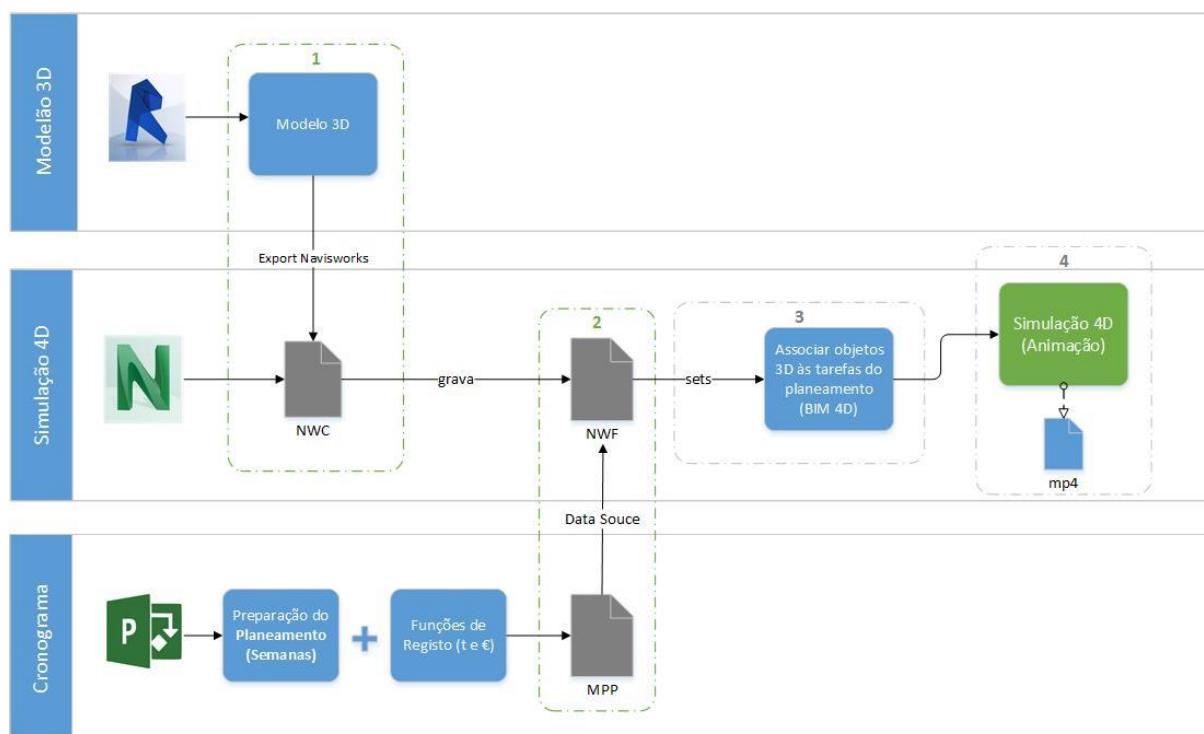
### 4 FASEAMENTO CONSTRUTIVO (MODELO 4D E 5D)

Este Capítulo correspondeu ao Passo 4 da metodologia 3.1 que aborda as ferramentas 4D e 5D que foram utilizadas para o faseamento construtivo BIM aplicado ao caso prático.

O faseamento construtivo 4D consiste na associação ao modelo 3D o cronograma com prazos (em semanas) e o 5D associar os custos da construção. Para isto é necessário adicionar duas componentes (*inputs*) ao *software* de 4D e 5D:

- Planeamento por semanas (com tempos e custos);
- Modelo 3D.

O esquema da Figura 74 explica o procedimento elaborado nesta componente prática para simular virtualmente a construção através das ferramentas BIM escolhidas/disponíveis. Os passos 1,2,3 e 4 serão explicados no tópico 4.2.



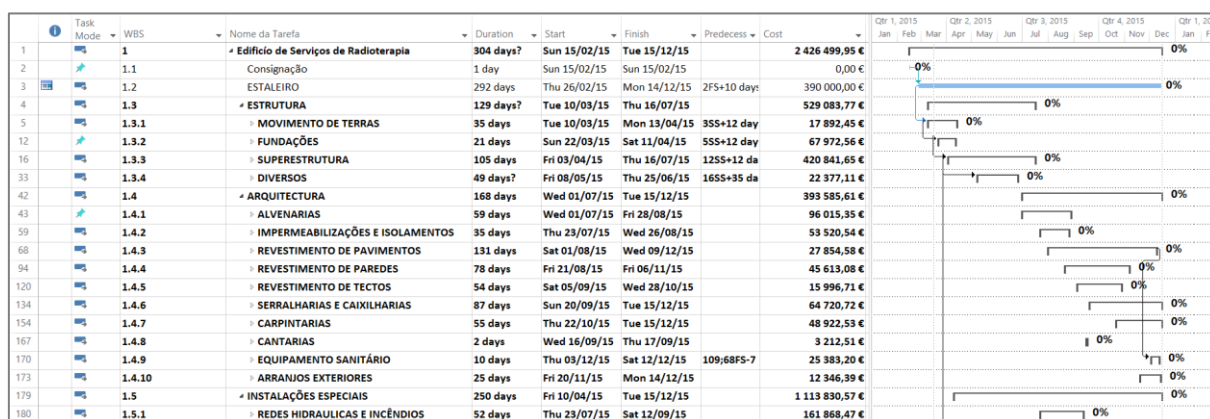
**Figura 74** – Procedimento elaborado para o faseamento construtivo 4D/5D.

A abordagem 4D e 5D foi elaborada a partir dos custos e prazos presentes no planeamento da obra já existente.

## 4.1 Planeamento da construção

O planeamento de execução dos trabalhos foi elaborado em *Microsoft Project* através de um ficheiro (.mpp) para ser utilizado e estudado no âmbito desta dissertação.

Na Figura 75 apresentam-se algumas atividades de resumo do projeto com os seguintes dados: as tarefas, duração das tarefas, datas de início e de fim planeadas associadas às durações, as precedências das atividades e o custo total de tarefa. A construção deste edifício teve a duração total de 304 dias, desde a semana 8 à 51 do ano de 2015.



**Figura 75** – Atividades de resumo do projecto.

Ao planeamento presente na Figura 75 foi necessário fazer alterações para atingir os objetivos de estudo do BIM 4D e 5D para aplicação na construção para o gestor de obra.

Dividiu-se o planeamento em semanas da construção para cada tarefa em particular ocupando 293 linhas do *MS Project*.

De seguida, acrescentou-se no *MS Project* duas colunas de registo do tipo custo, o EV e o AC, que são colunas onde o gestor de obra regista os custos correspondentes à(s) tarefa da semana da construção.

Além das colunas do tipo custo criou-se duas funções no *MS Project*, a “week number” e a “week number finish” que registaram em que semana (do ano) correspondem às datas de

início e fim planeadas. Estas funções guiaram na construção das tabelas dinâmicas no Excel (do Capítulo 5) e deram informação ao utilizador (gestor de obra).

## 4.2 BIM 4D e 5D no Navisworks (*Software de Simulação*)

Para se fazer o faseamento construtivo associado ao modelo BIM escolheu-se o *software Navisworks Manage* 2016 da *Autodesk*, por ser um software de fácil manuseamento, de livre acesso com licença universitária e por permitir uma passagem direta através do “*Export*” do *Revit*.

Assim, no *Navisworks Manage* seguiram-se os seguintes passos para o faseamento construtivo 4D e 5D (esboçados da Figura 74):

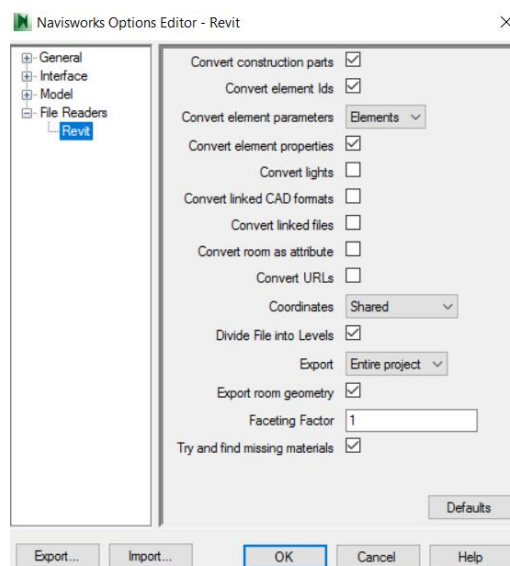
1. *Export* do modelo do *Revit*
2. Importação o planeamento do MS Project
3. Associação dos objetos 3D a cada tarefa do cronograma através de *Search e Selection Sets*.
4. Construção do Vídeo 4D para visualização da construção.

### 4.2.1 Exportação do Modelo 3D

A passagem do modelo 3D no *Revit* para o *Navisworks* (Passo 1) fez-se com recurso ao “*Export*” do primeiro software.

Para passagem de todos os parâmetros dos objetos do modelo 3D é importante seleccionar algumas opções do *Navisworks* ao exportar o modelo (botão *Revit – Export – Navisworks – clicar no Navisworks Settings da Checkbox*), ver Figura 76.

No campo “*convert elemento parameters*” deve-se seleccionar “*Elements*” para se exportar todas os parâmetros. As restantes opções permitem também filtrar a informação que se pretenda exportar.



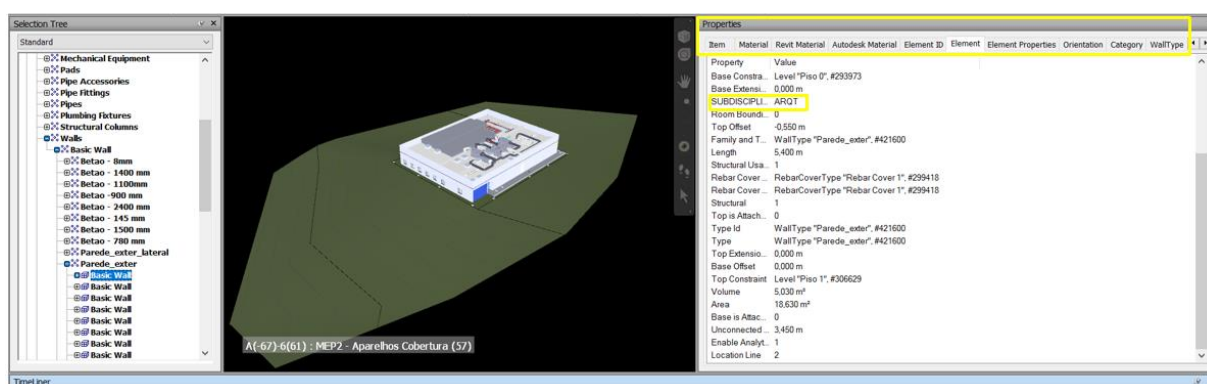
**Figura 76** – Propriedades de exportação para o Navisworks.

Após a exportação do modelo 3D grava-se automaticamente um ficheiro NWC (*Navisworks Cache*) na pasta selecionada.

Este ficheiro é unicamente um ficheiro de leitura e pode ser considerado como um mecanismo de transformação do modelo BIM num formato que o *Navisworks* reconhece.

Ao abrir o ficheiro NWC verificou-se que o modelo 3D e os parâmetros foram transferidos eficazmente, inclusive o parâmetro “*SUBDISCIPLINE*” criado anteriormente no *Revit* para visualizar os elementos por disciplinas.

É possível ainda ver no “*Selection Tree*” do *Navisworks*, os objetos selecionados, os níveis associados, o tipo de objeto e famílias, ver Figura 77 (lado esquerdo).



**Figura 77** – Ficheiro NWC gerado.

### 4.2.2 Importar o cronograma da construção

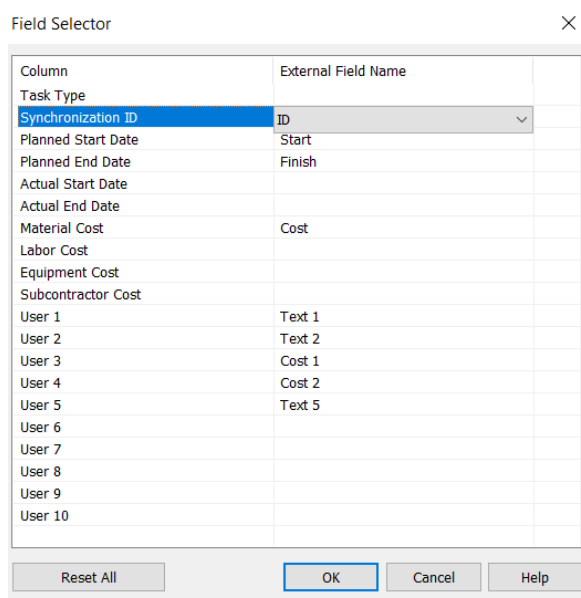
O segundo passo consiste em importar o cronograma do *MS Project* para o software de faseamento construtivo.

O *Navisworks* contém uma funcionalidade que permite importar diretamente ficheiros do *Microsoft Project* ou através de ficheiros CSV (*Comma Separated Values*).

Dada esta possibilidade, adicionou-se o planeamento do Microsoft Project e gerou-se as hierarquias entre os dois programas, pela atribuição das colunas desejadas a apresentar do MS Project às colunas por defeito que se vão representar no *TimeLiner* do *Navisworks*. Estas preferências estão representadas na Figura 78.

É ainda importante referir que as colunas de custo e texto (nº da semana no ano) criadas para registo foram reconhecidas pelo software de simulação 4D pela associação das colunas de texto às colunas “*user*”.

Por fim, esta funcionalidade de importação do *Navisworks* permite que sempre que haja uma alteração de custo no *MS Project*, essa informação seja atualizada no *Navisworks* e adicionada ao cronograma ligado aos objetos de modelação 3D.

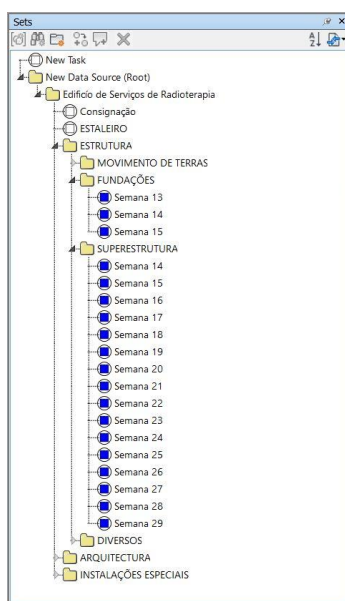


**Figura 78** – Atribuição das colunas do planeamento às do Navisworks.

### 4.2.3 Associação dos objetos 3D às tarefas do cronograma

A associação dos objetos do modelo 3D às tarefas do cronograma (Passo 3) fez-se através de Sets (*Search Sets* e *Selection Sets*).

No *Navisworks* exportou-se a informação do cronograma por Sets (*Export to Sets*) e a cada Pasta (*Search Set*) criada correspondem as tarefas resumo do planeamento e dentro destas pastas encontram-se links (*Selection Sets*) ao qual serão atribuídos objetos 3D (ver Figura 79).

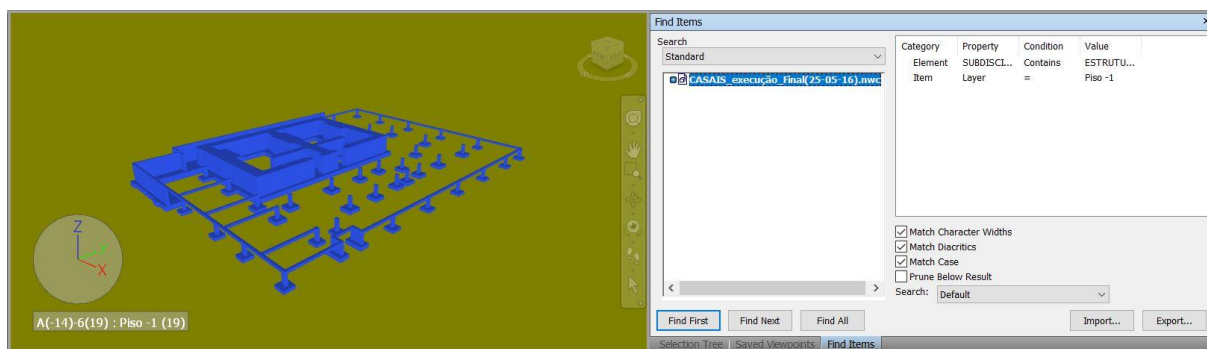


**Figura 79** – *Search e Selection Sets*.

Neste Passo 3 há uma vasta quantidade de informação a ser *linkada* e torna-se, por isso, um processo moroso. De forma a facilitar este processo utilizaram-se filtros, através do *Find Items* do *Navisworks* e com base nos parâmetros criados e existentes transportados do *Revit*.

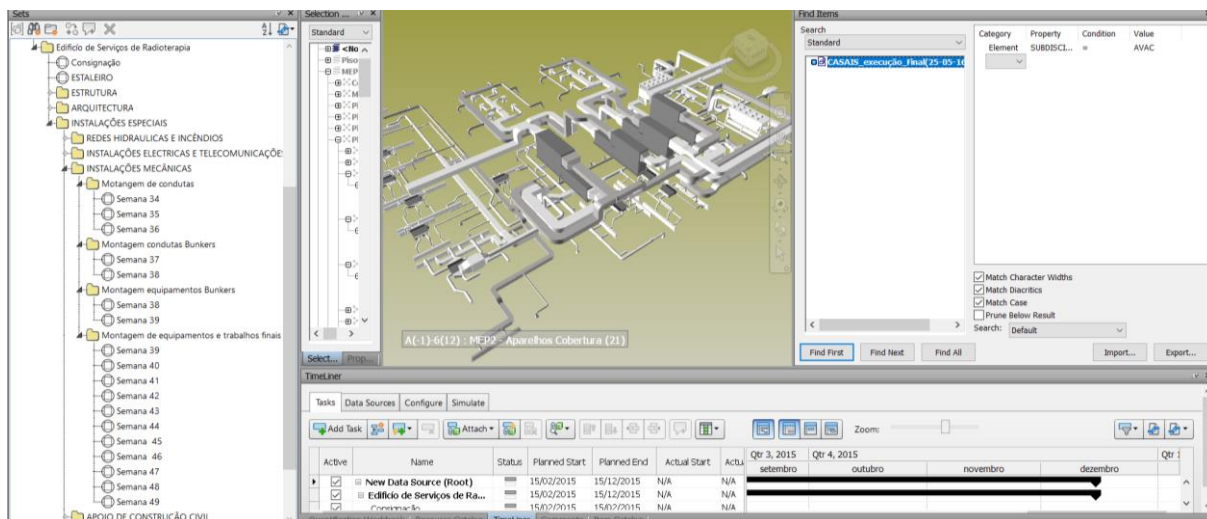
O parâmetro “*SUBDISCIPLINE*” permitiu juntamente com outros parâmetros, como por exemplo “*layer*”, ser bastante útil no arranjo da informação.

O uso destes dois parâmetros pode ser exemplificado na Figura 80, para seleccionar as Fundações do edifício, ao qual o parâmetro *SUBDISCIPLINE* contém o campo ESTRUTURAS (filtro criado no RVT) e o parâmetro *layer* selecciona todos os elementos que estão associados ao Piso -1.



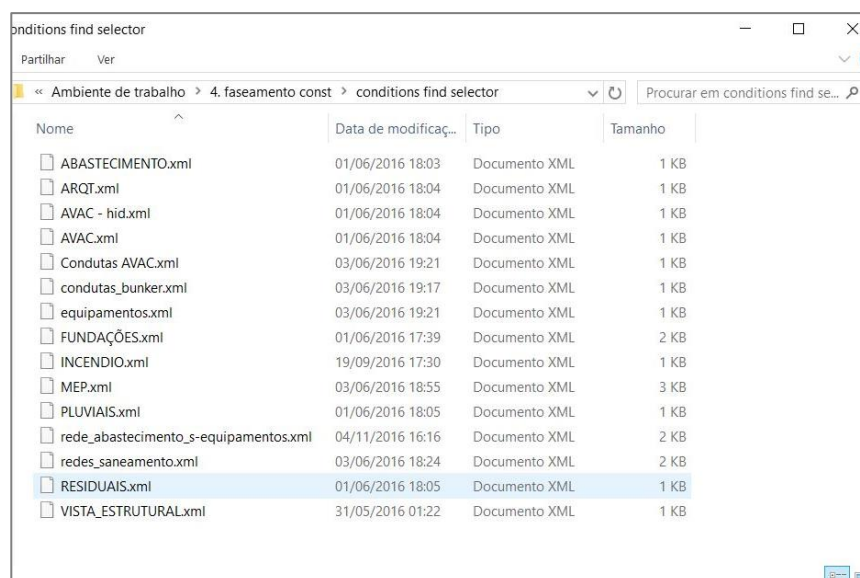
**Figura 80** – Seleção dos elementos das Fundações com recurso ao *Find Items*.

Na Figura 81 é possível ver os Sets associados a cada linha do planeamento (lado direito), o cronograma descritivo e o modelo 3D filtrado para a especialidade AVAC, pela leitura do parâmetro *SUBDISCIPLINE* e dos comandos do *Find Items*.



**Figura 81** – Seleção da categoria AVAC e ambiente no Navisworks.

As condições de filtragem do *Find Items* foram exportadas e guardadas numa pasta através de um ficheiro XML, para que de uma forma rápida se pudesse visualizar rapidamente o que se pretendesse (ver Figura 82).



**Figura 82** – condições do *Find Items* gravadas.

#### 4.2.4 Simulação 4D

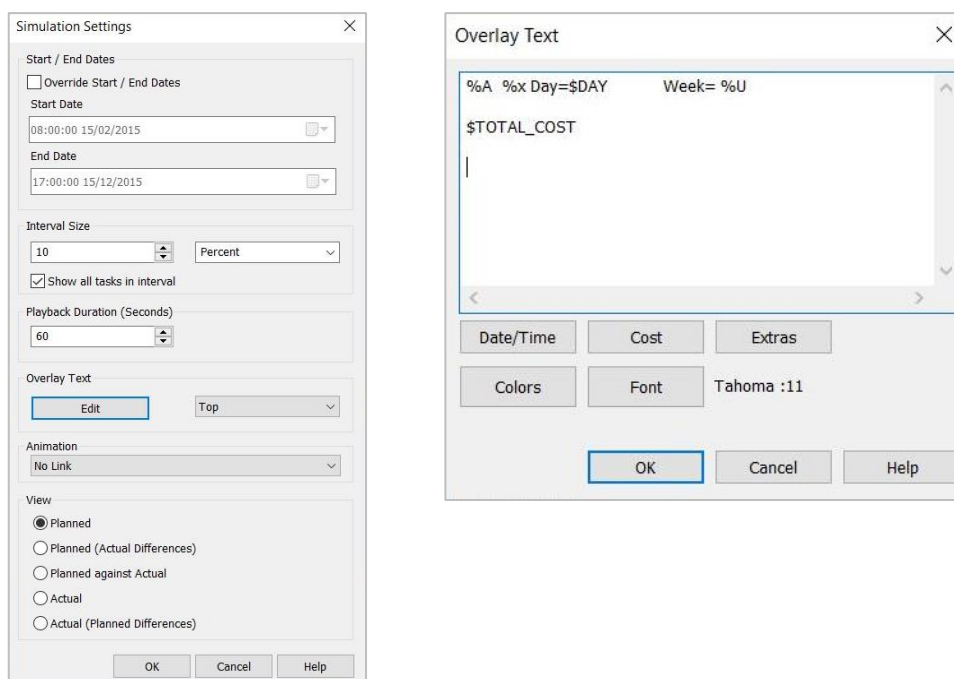
Finalmente como último passo, criou-se uma animação 4D do faseamento construtivo da obra, que de uma forma simples e rápida permite dar uma perspetiva da construção do empreendimento num plano virtual.

A Apresentação do vídeo 4D resulta do processo interativo entre os vários passos da modelação 3D e do faseamento/planeamento construtivo da construção por semanas (Etapa 4 do Esquema introdutivo).

No *Simulation Settings* do *Navisworks* escolheu-se as opções pretendidas para criar a animação (Figura 83).

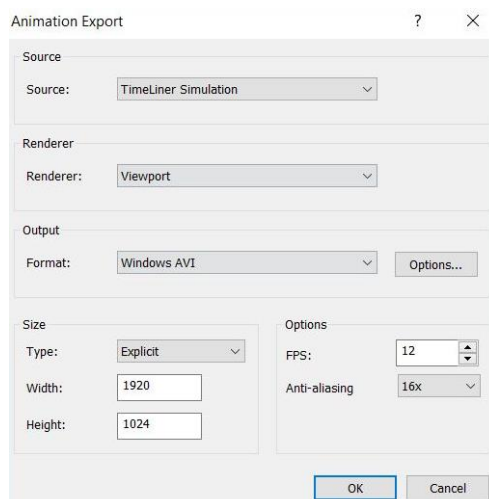
No campo *Overlay text* selecionou-se os tipos de informação pretendida para o texto da animação: dia da semana, data (dd/MM/AA), a semana da construção (do ano) e o custo total das tarefas executadas (ver Figura 83 – lado direito).





**Figura 83** – Propriedades da animação 4D.

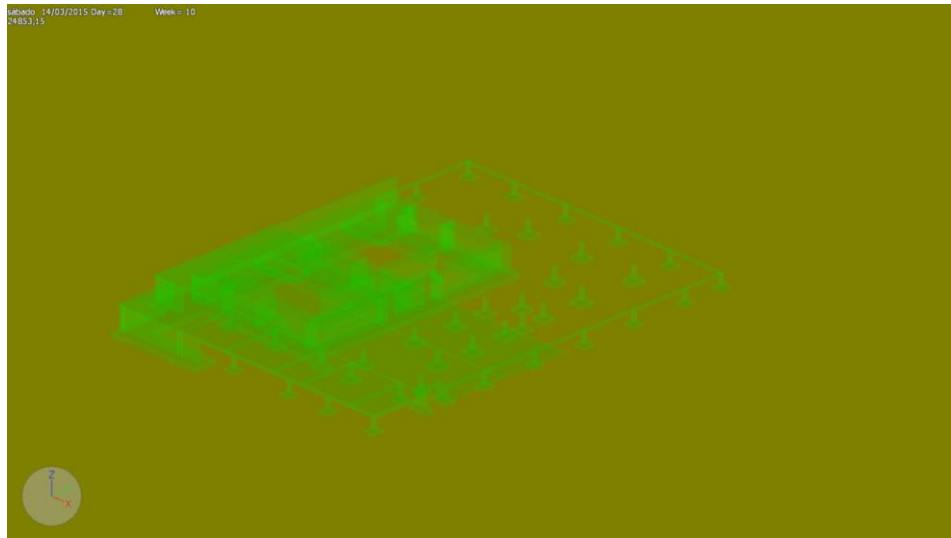
Depois de selecionadas as propriedades da animação selecionou-se as opções de exportação (Figura 84), que permitiram acrescentar qualidade de produção do vídeo.



**Figura 84** – Propriedades de exportação da animação.

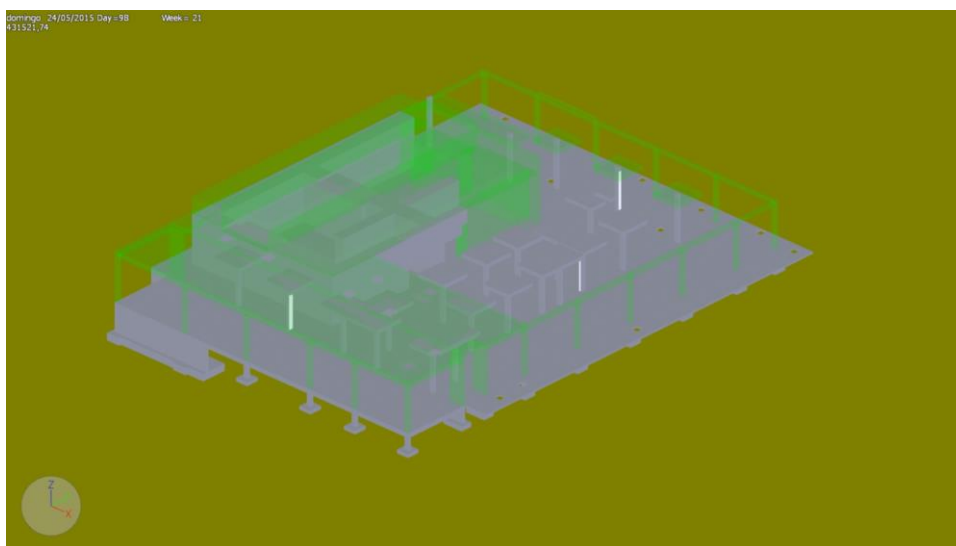
Por último, nas Figura 85 e Figura 86, apresentam-se exemplos da simulação 4D e 5D da construção.

Os objetos que estão a ser construídos aparecem a verde (90% transparente), tal como os objetos da Figura 85 (execução das fundações e início da betonagem da laje do piso).



**Figura 85** – Início dos trabalhos de execução das fundações.

Quando termina a execução destes objetos eles aparecem com a cor final a sólido, como no caso dos objetos concluídos da Figura 86, pela conclusão das fundações, da laje do piso e de alguns pilares, capitéis e paredes dos bunkers.



**Figura 86** – Finalização do trabalhos de fundações e início da execução da superestrutura.

Ainda nas Figuras Figura 85 e Figura 86 , é possível notar a divisão dos objetos feita na Modelação 3D associada as tarefas do cronograma, por semana da construção.

A legenda destas Figuras dá informação do dia da construção, da semana e do custo total ocorrido, presente no canto superior esquerdo da animação.

O resumo da animação 4D (cronograma) e 5D (custos totais das tarefas do cronograma), em Figuras descritivas das várias tarefas e especialidades encontram-se em Anexo.



## CAPÍTULO 5

### 5 FERRAMENTAS DE APOIO À GESTÃO DE OBRA

Uma vez associada a modelação 3D às tarefas do planeamento pretende-se no Capítulo 5 adicionar ferramentas BIM que complementem a gestão da obra.

Neste capítulo aplicar-se-á a metodologia EVM (*Earned Value Management*) estudada no Capítulo 2, como fornecedora de um sistema de gestão integrado de indicadores que permitem medir o estado da construção, no tempo e custo, dando bases ao gestor de obra de monitorização numa perspetiva do *Project Management Institute*.

Deste modo o objetivo deste capítulo é associar a informação BIM 4D e 5D correspondentes ao faseamento construtivo feito no Capítulo 4, a uma análise EVM feita numa folha de Excel.

A análise estabelecida no Excel permite gerar informação que é exibida no software de simulação 4D e 5D (*Navisworks Manage*) através de um modelo de cores atualizado.

Para atingir este objetivo foram efetuados os seguintes passos:

1. Passagem e ligação do software de simulação 4D para o Excel;
2. Determinar o valor acumulado dos custos EVM (PV, EV e AC);
3. Calculo automático dos indicadores de gestão;
4. Obter tabelas e gráficos dinâmicos da construção com base no EVM;
5. Análise dos dados da construção;
6. Modelo descritivo de cores.

Tal como referido no início do Capítulo 4, o planeamento presente no *Microsoft Project* foi modificado para que em cada tarefa geral e sub-tarefas fossem organizadas por semanas de construção (ver Figura 87).

A divisão das tarefas de construção em sub-tarefas semanais foi muito importante para se fazer esta análise, uma vez que, permitiu fazer análises semanais e registou os custos acumulados reais e agregados (EV e AC) em cada semana e tarefa da construção.

Tal como é possível ver na Figura 88 – as colunas do EV e AC foram criadas com funções do tipo custo, como exemplo “*costI*” já existentes no *Microsoft Project*.

Os valores de EV e de AC introduzidos nesta Dissertação são fictícios, meramente hipotéticos e usados apenas para estudo. O valor do PV (*Planned Value*) corresponde ao custo total planeado correspondente à coluna *cost* da Figura 87.

Além destas colunas de custo foram ainda adicionadas colunas do tipo texto (como por exemplo “*textI*”) e modificadas no *MS Project* adicionando uma fórmula que calcula a semana do ano a que correspondem as datas de início e fim planeadas, ver na Figura 87 as colunas “*Week Number*” e “*Week Number Finish*”.

Estas fórmulas são também importantes porque permitem de uma forma rápida identificar qual a semana da construção a que corresponde uma determinada tarefa, e servirá também no estabelecer das relações no Excel para calcular automaticamente os custos acumulados.

As colunas que foram adicionadas para registar os custos ao longo da construção encontram-se destacadas a amarelo na Figura 88.

WBS	Nome da Tarefa	Duration	Start	Finish	Predecess	Cost	EV	AC	Week Number	Week Number Finish
1.4	ARQUITECTURA	274 days	Tue 17/03/15	Tue 15/12/15		393 585,61 €	0,00 €	0,00 €	Week 12	Week 36
1.4.1	ALVENARIAS	59 days	Wed 01/07/15	Fri 28/08/15		96 015,35 €	0,00 €	0,00 €	Week 12	Week 20
1.4.1.1	Alvenaria platibandas e claraboias	10 days	Wed 01/07/15	Fri 10/07/15	16FS-16 day	32 005,12 €	0,00 €	0,00 €	Week 27	Week 28
1.4.1.1.1	Semana 27	4 days	Wed 01/07/15	Sat 04/07/15		12 802,05 €	0,00 €	0,00 €	Week 27	Week 27
1.4.1.1.2	Semana 28	6 days	Sun 05/07/15	Fri 10/07/15	45	19 203,07 €	0,00 €	0,00 €	Week 28	Week 28
1.4.1.2	Alvenaria exterior	26 days	Sat 11/07/15	Wed 05/08/15	44	32 005,11 €	0,00 €	0,00 €	Week 28	Week 32
1.4.1.2.1	Semana 28	1 day	Sat 11/07/15	Sat 11/07/15		1 230,97 €	0,00 €	0,00 €	Week 28	Week 28
1.4.1.2.2	Semana 29	7 days	Sun 12/07/15	Sat 18/07/15	48	8 616,76 €	0,00 €	0,00 €	Week 29	Week 29
1.4.1.2.3	Semana 30	7 days	Sun 19/07/15	Sat 25/07/15	49	8 616,76 €	0,00 €	0,00 €	Week 30	Week 30
1.4.1.2.4	Semana 31	7 days	Sun 26/07/15	Sat 01/08/15	50	8 616,76 €	0,00 €	0,00 €	Week 31	Week 31
1.4.1.2.5	Semana 32	4 days	Sun 02/08/15	Wed 05/08/15	51	4 923,86 €	0,00 €	0,00 €	Week 32	Week 32

**Figura 87** – Planeamento elaborado por semana da construção do ano.

Os valores do EV e AC foram então registados consoante a semana da obra de estudo. A Figura 88 mostra um exemplo do registo destes custos (presentes nas colunas destacadas a cinzento).

Task Mode	WBS	Nome da Tarefa	Duration	Start	Finish	Predecess	Cost	EV	AC
	1	Edifício de Serviços de Radioterapia	304 days?	Sun 15/02/15	Tue 15/12/15		2 426 499,95 €	0,00 €	0,00 €
	1.1	Consignação	1 day	Sun 15/02/15	Sun 15/02/15		0,00 €	0,00 €	0,00 €
	1.2	ESTALEIRO	292 days	Thu 26/02/15	Mon 14/12/15	2FS+10 days	390 000,00 €	390 000,00 €	390 000,00 €
	1.3	ESTRUTURA	129 days?	Tue 10/03/15	Thu 16/07/15		529 083,77 €	0,00 €	0,00 €
	1.3.1	MOVIMENTO DE TERRAS	35 days	Tue 10/03/15	Mon 13/04/15	3SS+12 day	17 892,45 €	0,00 €	0,00 €
	1.3.1.1	Semana 11	5 days	Tue 10/03/15	Sat 14/03/15		2 556,06 €	2 556,06 €	2 556,06 €
	1.3.1.2	Semana 12	7 days	Sun 15/03/15	Sat 21/03/15	6	3 578,49 €	3 578,49 €	3 578,49 €
	1.3.1.3	Semana 13	7 days	Sun 22/03/15	Sat 28/03/15	7	3 578,49 €	3 578,49 €	3 578,49 €
	1.3.1.4	Semana 14	7 days	Sun 29/03/15	Sat 04/04/15	8	3 578,49 €	3 578,49 €	3 578,49 €
	1.3.1.5	Semana 15	7 days	Sun 05/04/15	Sat 11/04/15	9	3 578,49 €	3 578,49 €	3 578,49 €
	1.3.1.6	Semana 16	2 days	Sun 12/04/15	Mon 13/04/15	10	1 022,43 €	1 022,43 €	1 022,43 €
	1.3.2	FUNDAÇÕES	21 days	Sun 22/03/15	Sat 11/04/15	5SS+12 day	67 972,56 €	0,00 €	0,00 €
	1.3.2.1	Semana 13	7 days	Sun 22/03/15	Sat 28/03/15		22 657,52 €	11 328,76 €	22 657,52 €
	1.3.2.2	Semana 14	7 days	Sun 29/03/15	Sat 04/04/15	13	22 657,52 €	11 328,76 €	22 657,52 €
	1.3.2.3	Semana 15	7 days	Sun 05/04/15	Sat 11/04/15	14	22 657,52 €	22 657,52 €	22 657,52 €
	1.3.3	SUPERESTRUTURA	105 days	Fri 03/04/15	Thu 16/07/15	12SS+12 da	420 841,65 €	0,00 €	0,00 €
	1.3.3.1	Semana 14	2 days	Fri 03/04/15	Sat 04/04/15		8 016,03 €	8 016,03 €	8 016,03 €
	1.3.3.2	Semana 15	7 days	Sun 05/04/15	Sat 11/04/15	17	28 056,11 €	28 056,11 €	28 056,11 €
	1.3.3.3	Semana 16	7 days	Sun 12/04/15	Sat 18/04/15	18	28 056,11 €	28 056,11 €	28 056,11 €

**Figura 88** – Registo dos valores de EV e AC no MS Project.

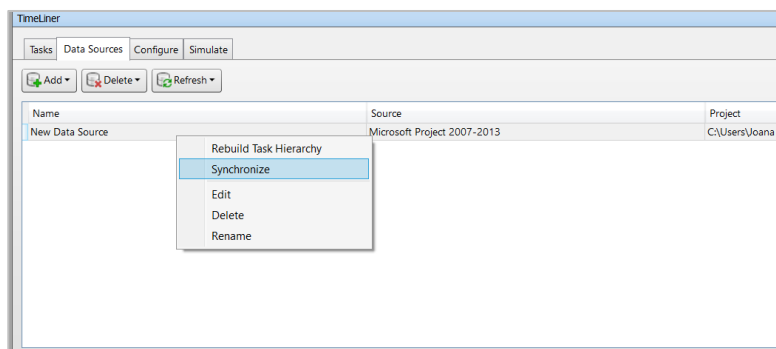
Este planeamento foi importado diretamente para o *Navisworks* e atribuído ao modelo 3D, tal como mencionado no Capítulo 4.

Depois de acrescentada toda a informação ao cronograma importou ligar os dados do faseamento construtivo de uma forma automática ao software de gestão, ou seja, para que sejam atualizados sempre que hajam alterações de custo e tempo. Esta passagem será descrita no tópico 5.1.

Sempre que houve acréscimo ou atualização da informação sincronizou-se a “*data Source*” do *MS Project* no *Navisworks* (ver Figura 89 – Atualização da *Data Source* no *Navisworks*.) e reestabeleceu-se o cronograma da construção (ver quadro da Figura 89).

A informação dos custos da Figura 88 registou-se no *Navisworks* exemplificada na Figura 90.

Para as colunas “*user*” selecionadas para registar esta informação foram renomeadas tal como se pode ver na Figura 90 de “Semana Inicio”, “Semana Fim”, “EV” e “AC”.



**Figura 89** – Atualização da *Data Source* no *Navisworks*.

Active	Name	Status	Display ID	Planned Start	Planned End	Actual Start	Actual End	Task Type	Attached	Total Cost	Semana Inicio	Semana Fim	EV	AC
<input checked="" type="checkbox"/>	New Data Source (Root)			15/02/2015	15/12/2015	N/A	N/A			2 426 499,95			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Edifício de Serviços de Ra...		1	15/02/2015	15/12/2015	N/A	N/A			2 426 499,95			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Consignação		2	15/02/2015	15/02/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	0,00	Week 8	Week 8	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	ESTALEIRO		3	26/02/2015	14/12/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	390 000,00	Week 9	Week 51	390000	390000
<input checked="" type="checkbox"/>	ESTRUTURA		4	10/03/2015	16/07/2015	N/A	N/A	Construct		529 083,77			0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	MOVIMENTO DE TERRAS		5	10/03/2015	13/04/2015	N/A	N/A	Construct		17 892,45	Week 11	Week 16	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 11		6	10/03/2015	14/03/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	2 556,06	Week 11	Week 11	2556,06	2556,06
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 12		7	15/03/2015	21/03/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	3 578,49	Week 12	Week 12	3578,49	3578,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 13		8	22/03/2015	28/03/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	3 578,49	Week 13	Week 13	3578,49	3578,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 14		9	29/03/2015	04/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	3 578,49	Week 14	Week 14	3578,49	3578,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 15		10	05/04/2015	11/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	3 578,49	Week 15	Week 15	3578,49	3578,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 16		11	12/04/2015	13/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	1 022,43	Week 16	Week 16	1022,43	1022,43
<input checked="" type="checkbox"/>	FUNDAÇÕES		12	22/03/2015	11/04/2015	N/A	N/A	Construct		67 972,56	Week 13	Week 15	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 13		13	22/03/2015	28/03/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	22 657,52	Week 13	Week 13	11328,76	22657,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 14		14	29/03/2015	04/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	22 657,52	Week 14	Week 14	11328,76	22657,52
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 15		15	05/04/2015	11/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	22 657,52	Week 15	Week 15	22657,52	22657,52
<input checked="" type="checkbox"/>	SUPERESTRUTURA		16	03/04/2015	16/07/2015	N/A	N/A	Construct		420 841,65	Week 14	Week 29	0	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 14		17	03/04/2015	04/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	8 016,03	Week 14	Week 14	8016,03	8016,03
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 15		18	05/04/2015	11/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	28 056,11	Week 15	Week 15	28056,11	28056,11
<input checked="" type="checkbox"/>	Semana 16		19	12/04/2015	18/04/2015	N/A	N/A	Construct	Sets->New Data Sour...	28 056,11	Week 16	Week 16	28056,11	28056,11

Figura 90 – Cronograma atualizado no Navisworks.

## 5.1 Passagem dos dados do modelo para software de gestão

Para se poder trabalhar os dados do *Navisworks* no Excel, importou-se um ficheiro CSV exportado do *Navisworks* e fez-se a ligação desse ficheiro a partir de uma nova folha no Excel (separador ‘Dados’- Ligações, ver Figura 91 - (c)).

	B	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	Name	Material Cost	Labor Cost	Equipment Cost	Subcontractor Cost	Semana Inicio	contagem semana	EV	AC	Semana
5	Consignação	0,00 €	0	0	0					
6	ESTALEIRO	2 426 499,95 €	0	0	0			0,00 €	0	
7	ESTRUTURA	0,00 €	0	0	0	Week 8	Week -3	0,00 €	0	Week 8
8	MOVIMENTO DE TERRAS	390 000,00 €	0	0	0	Week 9	Week -1	390000	390000	Week 35
9	Semana 11	17 892,45 €	0	0	0	Week 11	Week 0	0,00 €	0	Week 16
10	Semana 12	2 556,06 €	0	0	0	Week 12	Week 0	2 556,06 €	2 556,06 €	Week 11
11	Semana 13	3 578,49 €	0	0	0	Week 12	Week 1	3 578,49 €	3 578,49 €	Week 12
12	Semana 14	3 578,49 €	0	0	0	Week 13	Week 1	3 578,49 €	3 578,49 €	Week 13
13	Semana 15	3 578,49 €	0	0	0	Week 14	Week 2	3 578,49 €	3 578,49 €	Week 14
14	Semana 16	1 022,43 €	0	0	0	Week 16	Week 4	1 022,43 €	1 022,43 €	Week 15
15	FUNDAÇÕES	67 972,56 €	0	0	0	Week 13	Week 1	0,00 €	0	Week 28
16	Semana 13	22 657,52 €	0	0	0	Week 13	Week 1	11 328,76 €	22 657,52 €	Week 13
17	Semana 14	22 657,52 €	0	0	0	Week 14	Week 2	11 328,76 €	22 657,52 €	Week 14
18	Semana 15	22 657,52 €	0	0	0	Week 15	Week 3	22 657,52 €	22 657,52 €	Week 15
19	Semana 16	420 841,65 €	0	0	0	Week 14	Week 3	0,00 €	0	Week 29
20	SUPERESTRUTURA	8 016,03 €	0	0	0	Week 14	Week 3	8 016,03 €	8 016,03 €	Week 14
21	Semana 14	28 056,11 €	0	0	0	Week 15	Week 3	28 056,11 €	28 056,11 €	Week 15
22	Semana 15	28 056,11 €	0	0	0	Week 16	Week 4	28 056,11 €	28 056,11 €	Week 16
23	Semana 16	28 056,11 €	0	0	0	Week 17	Week 5	0,00 €	0,00 €	Week 17
24	Semana 16	28 056,11 €	0	0	0	Week 18	Week 6	0,00 €	0,00 €	Week 18

(a)

(b)

(c)

Figura 91 - (a) Planeamento por semanas; (b) Custos e datas das tarefas; (c) Ligação Excel

Esta folha pode ser atualizada sempre que ocorrerem alterações feitas no software de simulação, pela atualização do ficheiro CSV (ver Figura 91 - (c) – comando “Atualizar”).

As colunas das tarefas “Name” (Figura 91 - (a)), do registo das semanas de início e fim (colunas “X” e “AB” da Figura 91 - (b)) e as colunas de custo (ver colunas “T”, “Z” e “AA” da Figura 91 - (b)) encontram-se conectadas as restantes folhas e serviram de *inputs* para a análise EVM feita no Excel. Esta forma de trabalho permitiu que a informação fosse introduzida e editada de forma automática, sendo que apenas teve de se construir a folha de análise uma vez.



## 5.2 Análise EVM

### 5.2.1 Determinação do valor acumulado dos custos EVM (PV, EV e AC)

O valor planeado dos custos (PV) trata-se do medidor base para os trabalhos executados, que permite determinar em valores monetários quanto se produziu e se deveria ter produzido, desde o início ao fim planeados. O PV pode ser extraído diretamente do *Microsoft Project*, pelo acumulado dos custos da coluna “*Cost*”, ou calculado no *Excel* a partir do ficheiro CSV.

No Excel construi-se uma folha dedicada ao PV, que soma os custos de cada tarefa por semana de trabalhos e faz o acumulado dos custos planeados (PV) (ver Figura 92).

	week 8	week 9	week 10	week 11	week 12	week 13	week 14	week 15	week 16	week 17	week 18	week 19	week 20	week 21	week 22	week 23	week 24	week 25	week 26	week 27	week 28	week 29	week 30	week 31
SEMANAS																								
Serviço de Serviços de Fisioterapia																								
Coverdado ESTO BOND	0																							
ESTRUTURA	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64	R\$1.64
MATERIAL DE TERAPIA																								
Semana 11					256.04																			
Semana 12						378.49																		
Semana 13							378.49																	
Semana 14								378.49																
Semana 15									378.49															
Semana 16										102.43														
FOLHAS DE																								
Semana 13						226.97.52																		
Semana 14							226.97.52																	
Semana 15								226.97.52																
SUPLEMENTOS																								
Semana 14							804.03																	
Semana 15								280.96.11																
Semana 16									280.96.11															
Semana 17										280.96.11														
Semana 18											280.96.11													
Semana 19												280.96.11												
Semana 20													280.96.11											
Semana 21														280.96.11										
Semana 22															280.96.11									
Semana 23																280.96.11								
Semana 24																	280.96.11							
Semana 25																		280.96.11						
Semana 26																			280.96.11					
Semana 27																				280.96.11				
Semana 28																					280.96.11			
Semana 29																						280.96.11		
DIVERSOS																							2004.08	
Semana 18											912.32													
Semana 19												919.73												
Semana 20													919.73											
Semana 21														919.73										
Semana 22															919.73									
Semana 23																919.73								
Semana 24																	919.73							
Semana 25																		919.73						
Semana 26																			919.73					
ALUGUELO DA																				2283.58				
ALUGUELO DA																								
ALUGUELO DA																								
Semana 27																				12.802.05				
Semana 28																					192.03.07			

**Figura 92** – Tabela de registo e cálculo automático do acumulado dos custos no Excel para o PV.

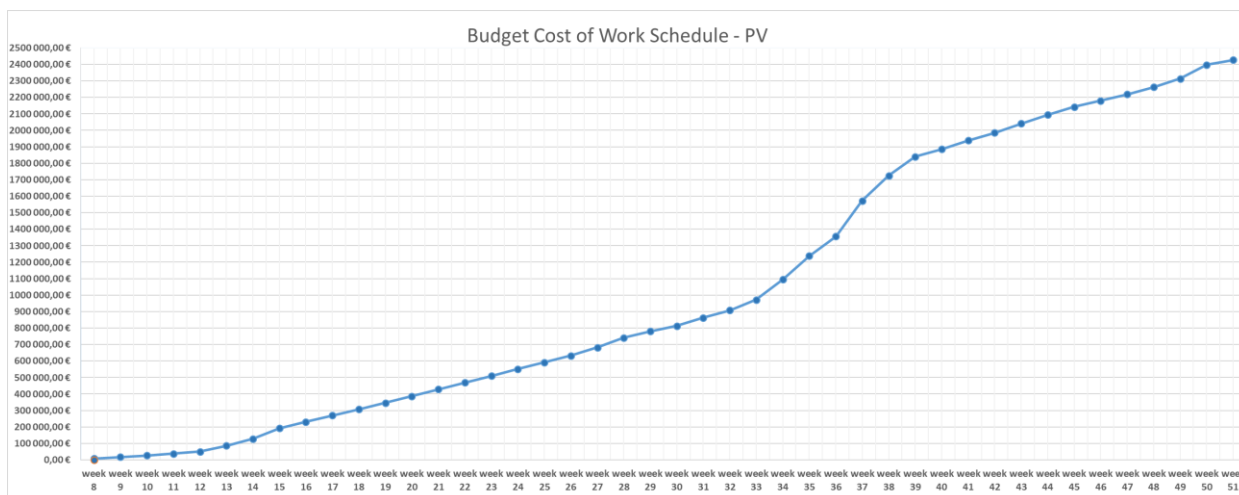
A construção da tabela da Figura 94 resultou da ligação da coluna “T” designada no *Excel* de “*Material Cost*” e o seu preenchimento consistiu na comparação das datas da coluna “X” (“Semana Início”) da folha de exportação com as datas das colunas da folha do PV criadas.

Quando as duas datas continham valores iguais copiava-se o valor do custo para a linha e a coluna pretendida.

O somatório dos valores de cada coluna resultou no custo total acumulado para a semana.

O gráfico PV trata-se de uma linha S que representa o acréscimo dos trabalhos desde a semana 8 (1ª semana da construção) e a semana 51 (última semana da construção), representada no Gráfico 1, pelo total dos custos acumulados por semana.

**Gráfico 1** – Curva do Planned Value (PV).



Por fim obteve-se o primeiro passo do método EVM em determinar o PV que servirá de base a todo o projeto.

É importante notar que o valor dos custos na semana 51 apresenta o valor total orçamentado para a obra, e corresponde também ao valor da BAC (*Budget-at-Completion*), avaliada em 2.426.500,00 €.

Para se fazer a análise de EVM o gestor de obra precisa de acrescentar a informação: (1) dos custos agregados para os trabalhos realizados (EV) e (2) dos custos reais do trabalho efetuado (AC) em cada semana da construção para as tarefas afetas desses custos.

O primeiro custo (EV) mede-se, como referido, em relação ao PV, ou seja, em relação ao instante de tempo (semana) produz-se uma percentagem de trabalhos (tarefas), se essa tarefa for produzida na totalidade então o valor do EV será igual ao valor do PV para essa tarefa.

O AC será também introduzido pelo gestor de obra e corresponde ao custo que realmente foi gasto para as tarefas realizadas.

Com a introdução desta informação é possível, por semana, analisar o estado da obra e visualizá-la no modelo BIM 4D e 5D.

O gráfico do valor acumulado dos custos do EV e do AC encontra-se em Anexo, sendo que os valores introduzidos para estes dois tipos de custo são meramente hipotéticos.

O acumulado dos custos para estes dois valores foi feito em folhas para o efeito atribuindo as ligações da folha do PV às folhas EV e AC no *Excel*. Este processo consistiu em alterar apenas a coluna de leitura da folha de exportação para a coluna dos custos pretendidos e desenhou-se automaticamente as tabelas dos custos acumulados.

### 5.2.2 Cálculo automático dos indicadores de gestão

Depois de construídas as curvas PV, EV e AC até à data estado (semana da construção a analisar) ou final do projeto obteve-se as três principais métricas de análise EVM essenciais a análise.

Deste modo é possível agora calcular os principais indicadores que dão informação do estado da construção no tempo e no orçamento e que foram introduzidos no Estado da Arte: SV (*Schedule Variance*) correspondente a Equação (1), CV (*Cost Variance*) da Equação (4), o SPI (*Schedule Performance Index*) da Equação (2) e o CPI (*Cost Performance Index*) descrito na Equação (5).

As percentagens dos valores SV e CV são dadas pelas Equações (1.1) e (4.1) respetivamente.

Estes indicadores são calculados entre as relações dos valores PV, EV e AC, em que o SV e o SPI são obtidos de relações entre o EV e o PV (de tempo) e o CV e CPI de relações matemáticas entre o EV e o AC (de custo) e serão calculados neste capítulo com base nas Equações referidas:

$$SV = EV - PV \quad (1)$$

$$SV(\%) = \frac{SV}{PV} \quad (1.1)$$

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (2)$$

$$CV = EV - AC \quad (4)$$

$$CV(\%) = \frac{CV}{EV} \quad (4.1)$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (5)$$

O cálculo destes indicadores será apresentado na Tabela 8 que será apresentada e analisada no tópico 5.3 da análise dos resultados.

### **5.3 Resultados da análise EVM com o modelo 4D e 5D**

Os resultados da análise EVM podem ser interpretados com base em tabelas e gráficos que identificam o estado da construção no tempo e no custo. Esse estado é apresentado em tabelas e atribuídas cores que serão representadas no modelo 4D e 5D no *Navisworks*, por forma a enriquecer a interpretação através de uma visualização intuitiva do estado da construção.

### 5.3.1 Tabelas dinâmicas custo / tempo

Estas tabelas registam de uma forma automática o acumulado dos custos introduzidos no *Microsoft Project*, lidos e armazenados no *Navisworks* e ligados à folha de *Excel* diretamente a partir do ficheiro CSV, associados à semana respetiva da construção.

A Tabela 7 trata-se de uma tabela resumo dos custos totais acumulados das três métricas EVM para todas as semanas da obra.

**Tabela 6** – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.

		week 8	week 9	week 10	week 11	week 12	week 13	week 14	week 15	week 16	week 17	week 18	week 19	week 20	week 21
EV	TOTAL	8 863,64 €	8 863,64 €	8 863,64 €	11 419,70 €	12 442,13 €	23 770,89 €	31 786,92 €	64 081,39 €	38 867,81 €	9 789,27 €	9 789,27 €	9 789,27 €	92 669,09 €	97 154,33 €
	TOTAL ACUMULADO	8 863,64 €	17 727,27 €	26 590,91 €	38 010,61 €	50 452,73 €	74 223,62 €	106 010,53 €	170 091,92 €	208 959,73 €	218 748,99 €	228 538,26 €	238 327,53 €	330 996,61 €	428 150,94 €
PV	TOTAL	8 863,64 €	8 863,64 €	8 863,64 €	11 419,70 €	12 442,13 €	35 099,65 €	43 115,68 €	64 081,39 €	38 867,81 €	37 845,38 €	37 845,38 €	38 758,73 €	41 042,11 €	41 042,11 €
	TOTAL ACUMULADO	8 863,64 €	17 727,27 €	26 590,91 €	38 010,61 €	50 452,73 €	85 552,38 €	128 668,05 €	192 749,44 €	231 617,25 €	269 462,62 €	307 308,00 €	346 066,73 €	387 108,83 €	428 150,94 €
AC	TOTAL	8 863,64 €	8 863,64 €	8 863,64 €	11 419,70 €	12 442,13 €	35 099,65 €	43 115,68 €	64 081,39 €	38 867,81 €	9 789,27 €	9 789,27 €	9 789,27 €	72 976,65 €	76 112,24 €
	TOTAL ACUMULADO	8 863,64 €	17 727,27 €	26 590,91 €	38 010,61 €	50 452,73 €	85 552,38 €	128 668,05 €	192 749,44 €	231 617,25 €	241 406,51 €	251 195,78 €	260 985,05 €	333 961,70 €	410 073,94 €

**Tabela 7** – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.

	week 22	week 23	week 24	week 25	week 26	week 27	week 28	week 29	week 30	week 31	week 32	week 33	week 34	week 35	week 36
EV	44 238,84 €	44 238,84 €	40 128,76 €	37 845,38 €	65 901,49 €	22 591,32 €	20 006,30 €	26 702,72 €	26 499,45 €	51 534,71 €	45 080,89 €	119 715,40 €	139 088,93 €	131 798,20 €	135 140,44 €
	472 389,78 €	516 628,61 €	556 757,37 €	594 602,74 €	660 504,23 €	683 095,55 €	703 101,84 €	729 804,56 €	756 304,01 €	807 838,71 €	852 919,60 €	972 635,00 €	1 111 723,92 €	1 243 522,12 €	1 378 662,55 €
PV	41 042,11 €	41 042,11 €	41 042,11 €	41 042,11 €	40 128,76 €	50 647,43 €	58 279,42 €	38 446,11 €	33 189,52 €	50 744,45 €	45 080,89 €	63 799,07 €	123 042,95 €	143 124,62 €	117 552,21 €
	469 193,05 €	510 235,15 €	551 277,26 €	592 319,36 €	632 448,12 €	683 095,55 €	741 374,96 €	779 821,07 €	813 010,59 €	863 755,03 €	908 835,92 €	972 634,99 €	1 095 677,93 €	1 238 802,55 €	1 356 354,75 €
AC	56 917,25 €	44 238,84 €	40 128,76 €	37 845,38 €	65 901,49 €	22 591,32 €	20 006,30 €	26 702,72 €	26 499,45 €	51 534,71 €	45 080,89 €	119 715,40 €	139 088,93 €	131 798,20 €	135 140,44 €
	466 991,20 €	511 230,03 €	551 358,79 €	589 204,16 €	655 105,65 €	677 696,97 €	697 703,26 €	724 405,98 €	750 905,43 €	802 440,13 €	847 521,02 €	967 236,42 €	1 106 325,34 €	1 238 123,54 €	1 373 263,97 €

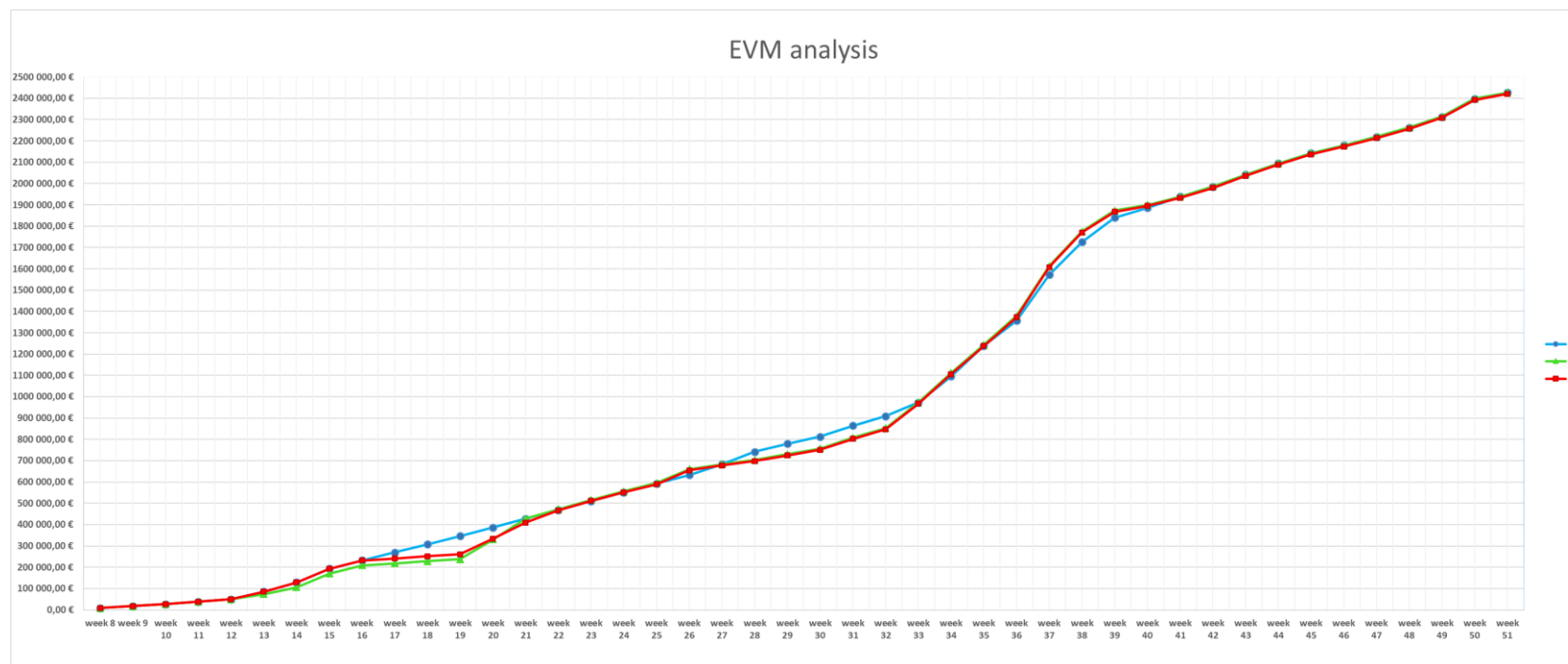
**Tabela 8** – Tabela dos acumulados dos custos para cada semana da construção.

	week 37	week 38	week 39	week 40	week 41	week 42	week 43	week 44	week 45	week 46	week 47	week 48	week 49	week 50	week 51
EV	234 086,75 €	162 630,24 €	98 097,70 €	26 513,02 €	38 840,44 €	46 467,71 €	55 981,22 €	53 183,06 €	47 545,68 €	37 065,50 €	39 870,98 €	43 563,32 €	50 896,92 €	84 631,81 €	28 463,11 €
	1 612 749,30 €	1 775 379,54 €	1 873 477,23 €	1 899 990,25 €	1 938 830,69 €	1 985 298,39 €	2 041 279,61 €	2 094 462,67 €	2 142 008,34 €	2 179 073,84 €	2 218 944,81 €	2 262 508,13 €	2 313 405,05 €	2 398 036,85 €	2 426 499,96 €
PV	216 072,38 €	152 885,39 €	114 781,20 €	46 130,30 €	51 940,14 €	47 134,24 €	55 981,22 €	53 183,06 €	47 545,68 €	37 065,50 €	39 870,98 €	43 563,32 €	50 896,92 €	84 631,81 €	28 463,11 €
	1 572 427,13 €	1 725 312,52 €	1 840 093,71 €	1 886 224,01 €	1 938 164,15 €	1 985 298,38 €	2 041 279,60 €	2 094 462,66 €	2 142 008,33 €	2 179 073,83 €	2 218 944,80 €	2 262 508,12 €	2 313 405,04 €	2 398 036,84 €	2 426 499,95 €
AC	234 086,75 €	162 630,24 €	98 097,70 €	26 513,02 €	38 840,44 €	46 467,71 €	55 981,22 €	53 183,06 €	47 545,68 €	37 065,50 €	39 870,98 €	43 563,32 €	50 896,92 €	84 631,81 €	28 463,11 €
	1 607 350,72 €	1 769 980,96 €	1 868 078,65 €	1 894 591,67 €	1 933 432,11 €	1 979 899,81 €	2 035 881,03 €	2 089 064,09 €	2 136 609,76 €	2 173 675,26 €	2 213 546,23 €	2 257 109,55 €	2 308 006,47 €	2 392 638,27 €	2 421 101,38 €

### 5.3.2 Gráfico dinâmicas custo / tempo (por semanas)

Diretamente dos acumulados dos custos traçou-se o Gráfico total da obra pela leitura dos três valores calculados: PV (azul), EV (verde) e AC (vermelho).

Gráfico 2 – Gráfico Total EVM.



### 5.3.3 Tabelas dinâmicas dos indicadores

A partir do Gráfico 2 geral da obra avaliou-se semanalmente o estado da construção até à data estado e construiu-se no *Excel* uma folha que calcula de forma automática os indicadores SV, CV, SPI e CPI.

Por sua vez, estes índices permitem fazer comparações entre eles, baseados na informação da Tabela 2 e atribuir cores descritivas do estado da construção. A obra foi analisada em seis tipos de cores:

- Vermelha – “Projeto atrasado e acima do orçamento”;
- Amarela – “Está no prazo e abaixo do orçamento”;
- Laranja – “Está atrasado, mas no orçamento”;
- Verde – “Projeto adiantado e abaixo do orçamento”;
- Azul – “Projeto adiantado mas no orçamento”;
- Cor do Objeto do modelo 3D – “Está no prazo e no orçamento”.

Essas cores de informação são por sua vez inputs para a construção do modelo de cores no *Navisworks*, cuja legenda se encontra presente nas Tabelas 9, 10 e 11. Além das cores descritivas a tabela 6 apresenta o cálculo dos indicadores e o estado da construção para cada semana.

**Tabela 9** – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 8 a 21.

	week 8	week 9	week 10	week 11	week 12	week 13	week 14	week 15	week 16	week 17	week 18	week 19	week 20	week 21
SV	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-11 328,76 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-50 713,63 €	-78 769,74 €	-107 739,20 €	-56 112,22 €	0,00 €
SV (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,13	-0,18	-0,12	-0,10	-0,19	-0,26	-0,31	-0,14	0,00
CV	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-11 328,76 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-22 657,52 €	-2 965,08 €	18 077,00 €
CV (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,15	-0,21	-0,13	-0,11	-0,10	-0,10	-0,10	-0,01	0,04
SPI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,82	0,88	0,90	0,81	0,74	0,69	0,86	1,00
CPI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,82	0,88	0,90	0,91	0,91	0,91	0,99	1,04
Estado	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado e acima do orçamento	Projeto atrasado mas no orçamento	Está no prazo e Abaixo do orçamento
NAVISWORKS BIM 4D e 5D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	RGB 255-124-128	RGB 255-124-129	RGB 255-124-130	RGB 255-124-131	RGB 255-124-132	RGB 255-124-133	RGB 255-124-134	RGB 244-176-132	RGB: 223-229-97

**Tabela 10** – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 22 a 36.

	week 22	week 23	week 24	week 25	week 26	week 27	week 28	week 29	week 30	week 31	week 32	week 33	week 34	week 35	week 36
SV	3 196,73 €	6 393,46 €	5 480,11 €	2 283,38 €	28 056,11 €	0,00 €	-38 273,12 €	-50 016,51 €	-56 706,58 €	-55 916,32 €	-55 916,32 €	0,01 €	16 045,99 €	4 719,57 €	22 307,80 €
SV (%)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	-0,05	-0,06	-0,07	-0,06	-0,06	0,00	0,01	0,00	0,02
CV	5 398,58 €	5 398,58 €	5 398,58 €	5 398,58 €	5 398,58 €	5 398,58 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €
CV (%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
SPI	1,01	1,01	1,01	1,00	1,04	1,00	0,95	0,94	0,93	0,94	0,94	1,00	1,01	1,00	1,02
CPI	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
Estado	Projeto Adiantado e abaixo do Orçamento	Projeto Adiantado e abaixo do Orçamento	Projeto Adiantado e abaixo do Orçamento	Está no prazo e Abaixo do orçamento	Projeto Adiantado e abaixo do Orçamento	Está no prazo e Abaixo do orçamento	Projeto atrasado mas Abaixo do orçamento	Projeto atrasado mas Abaixo do orçamento	Projeto atrasado mas Abaixo do orçamento	Projeto atrasado mas Abaixo do orçamento	Projeto atrasado mas Abaixo do orçamento	Está no prazo e Abaixo do orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento
NAVISWORKS BIM 4D e 5D	RGB: 169-208-142	RGB: 169-208-143	RGB: 169-208-144	RGB: 223-229-97	RGB: 169-208-144	RGB: 223-229-97	RGB 244-176-132	RGB 244-176-133	RGB 244-176-134	RGB 244-176-135	RGB 244-176-136	RGB: 223-229-97	RGB: 180-198-231	Cor do Objeto 3D	RGB: 180-198-231



**Tabela 11** – Determinação dos indicadores do desempenho da construção: SV, CV, SPI e CPI, para as semanas de 36 a 51.

	week 36	week 37	week 38	week 39	week 40	week 41	week 42	week 43	week 44	week 45	week 46	week 47	week 48	week 49	week 50	week 51
SV	22 307,80 €	40 322,17 €	50 067,02 €	33 383,52 €	13 766,24 €	666,54 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €
SV (%)	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CV	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €	5 398,57 €
CV (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SPI	1,02	1,03	1,03	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CPI	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Estado	Projeto adiantado mas no orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento	Projeto adiantado mas no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento	Está no prazo e no orçamento
NAVISWORKS BIM 4D e 5D	RGB: 180-198-231	RGB: 180-198-232	RGB: 180-198-233	RGB: 180-198-234	RGB: 180-198-235	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D	Cor do Objeto 3D

### 5.3.4 Modelo descritivo de cores da construção

A partir da análise EVM obtiveram-se dados descritivos das semanas da construção (consultar Tabelas 9,10 e 11).

Assim através da ferramenta “*Appearance Profiler*” no Navisworks Manage e pela leitura da propriedade criada pelo *TimeLiner* (ver Figura 93), quando se adiciona a informação dos objetos às tarefas (criação dos *Sets*), criam-se as relações de cores entre as propriedades selecionadas e da informação de obra.

Contudo, este processo foi feito manualmente, pois devido a numerosa quantidade objetos o *Navisworks* não consegue atribuir a propriedade criada pelo utilizador através de uma *DataTool/Database*, Essa Database construída, por exemplo, a partir de uma base de dados do *Excel* gerada com informações da análise EVM no *Navisworks*.



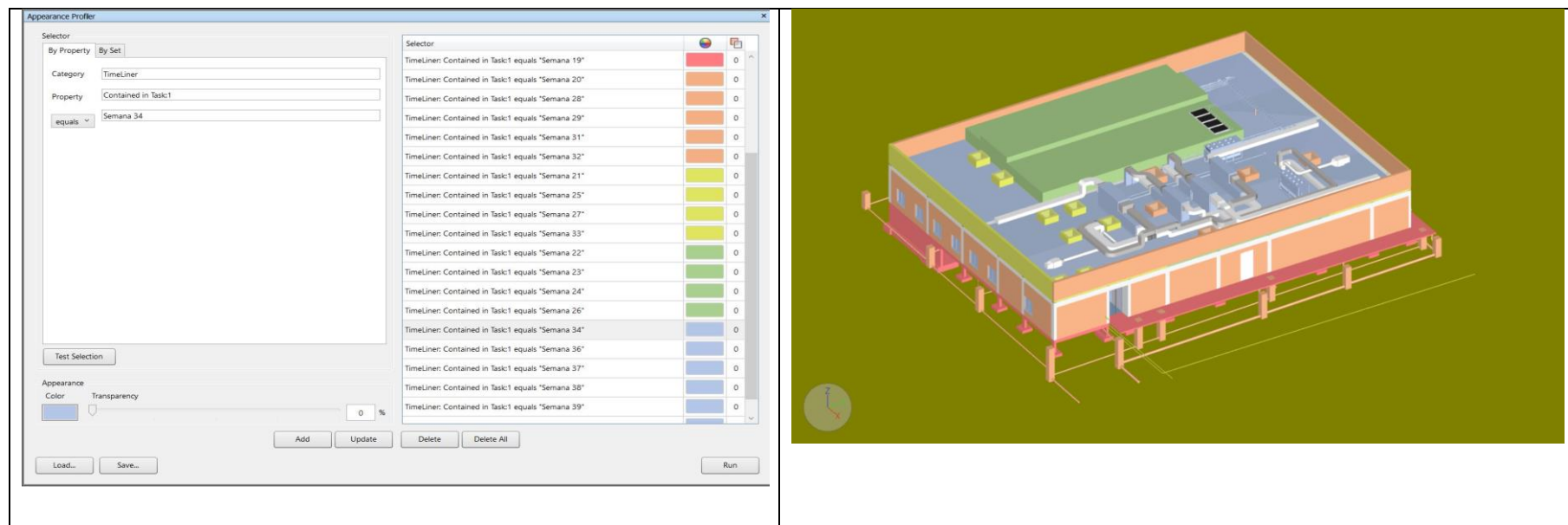
**Figura 93** – Propriedade criada pelo *TimeLiner* que permite adicionar uma relação de cores.

O registo da semana planeada no *TimeLiner* (*Contained in Task*) permite selecionar todos os objetos de uma determinada semana.

Uma vez feita a análise EVM determinou-se a correspondência de cores por semana da construção.

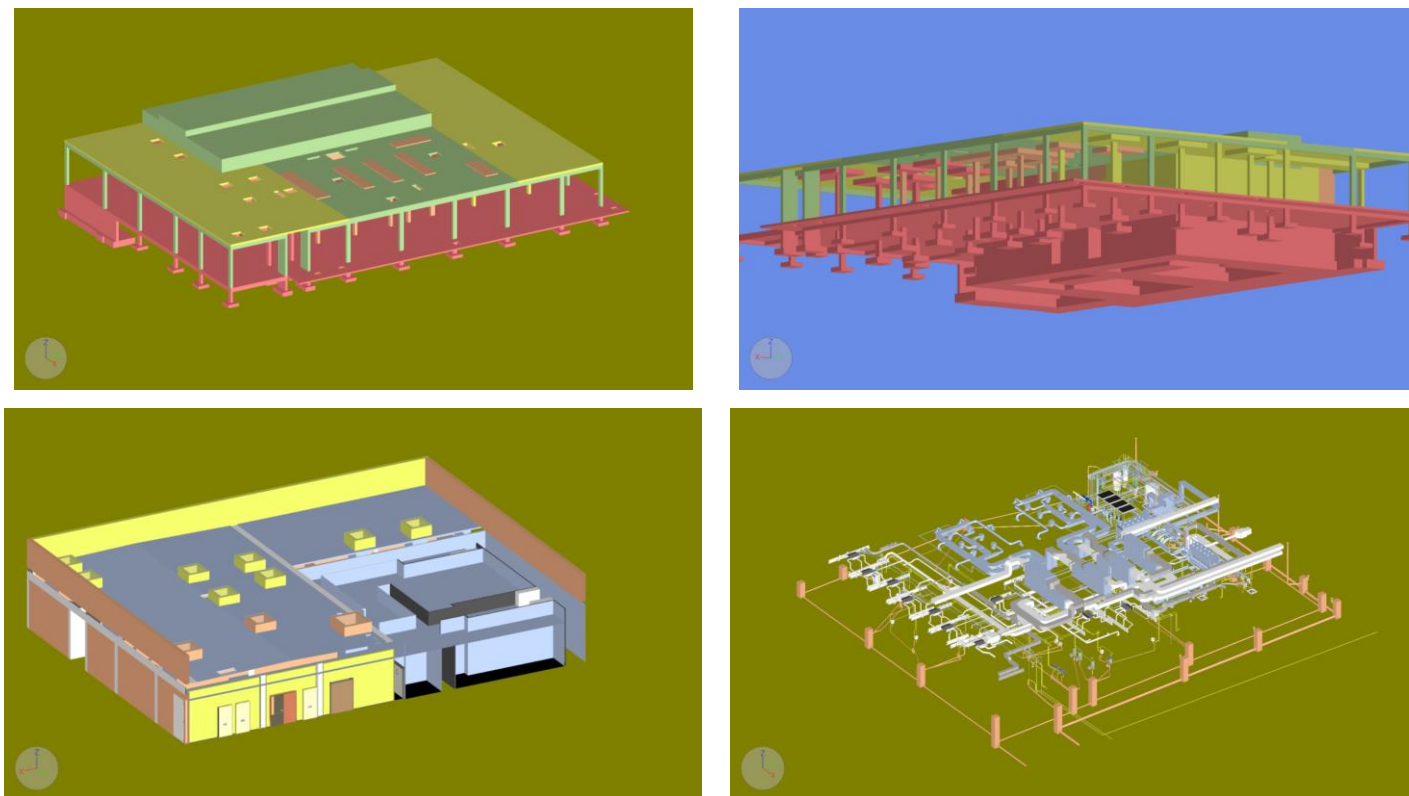
No *Appearance Profiler* através da procura “*by property*” selecionam-se os campos para cada semana e atribui-se a cor equivalente à das tabelas 9,10 e 11, de forma a manter a mesma legenda, gerando de seguida um modelo estático, tal como no exemplo da Figura 94.

Este modelo estático de cores é um modelo geral que apresenta informação de resumo para todas as semanas da obra. Contudo a análise pode ser repartida por intervalos de tempo de estado da construção, podendo o utilizador no momento que pretender fazer um balizamento de estado.



**Figura 94** – Atribuição de cores aos objetos com base nas propriedades de simulação.

Além do modelo estático geral do edifício apresentam-se também os modelos de cores gerais aplicando os filtros do *Find items* para se visualizar os elementos que se pretende. Seguem na Figura 95 os modelos das especialidades de estruturas em duas perspectivas de vista, arquitetura seccionada e instalações de AVAC.



**Figura 95** – Exmplos de visualização de análise em filtros de vista.



## CAPÍTULO 6

### 6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

#### 6.1 Conclusões Gerais

O desenvolvimento de trabalhos em BIM permite acrescentar valor aos projetos, sem perda da informação que integra a arquitetura e as várias especialidades.

Assim, o objetivo desta dissertação consistiu em dotar a cadeia de intervenientes numa empreitada, com principal enfoque nos gestores de obra, de ferramentas de gestão que controlassem o tempo e o custo ao longo da construção através do BIM.

O alcançar deste objetivo consistiu em agregar as várias informações do modelo, fornecendo bases que podem antecipar os problemas a surgir em obra (compatibilização da modelação), e apresentar ferramentas para a gestão dos custos e do tempo ao longo da construção.

Com base nestes pressupostos concluiu-se que a criação de modelos de vista e de parâmetros para cada objeto da modelação, no *software Revit* 2016 contribuiu para uma eficiente visualização/ filtro da informação e facilitou nos processos envolvidos nos restantes programas de *software* (SMC e *Navisworks Manage* 2016), uma vez que o parâmetro “*SUBDISCIPLINE*” passou eficazmente através de um ficheiro IFC ou por exportação direta (no caso do *Navisworks*).

Concluiu-se também que a necessidade de um modelo completo (constituído por todas as especialidades) é pertinente, sendo que cada elemento/objeto da modelação 3D pode ser associado de um modo detalhado à tarefa do planeamento correspondente acrescentando a informação necessária para a gestão de obra.

Verificou-se ainda que a *clash-detection* permitiu perceber que haviam colisões entre as várias especialidades antes da construção, havendo a necessidade de reajustar a modelação.

Permitiu também a passagem de informação limpa para software de simulação 4D. Por sua vez, a integração entre os vários software e metodologias de cada capítulo foi conseguida.

A ligação dos elementos 3D às tarefas do cronograma (Gantt) permitiu simular no tempo (semanas) simultaneamente com o custo total de cada tarefa, o faseamento construtivo da obra de uma forma virtual.

A simulação deste tipo de modelos (4D e 5D) possibilita a otimização do cronograma da construção (da estrutura do diagrama de Gantt). Pela sua visualização e perceção no momento, é possível, no espaço e no tempo, melhorar a distribuição dos elementos construtivos (do faseamento).

Quanto mais composto for o modelo 3D e com um nível de detalhe médio (LOD de 300), melhor será o faseamento do modelo 4D/5D na comparação com a realidade (em obra).

A simulação de um modelo 4D possibilita ainda ter uma perceção/ conhecimento mais rápida dos procedimentos do faseamento construtivo, podendo essa informação ser dada à equipa de gestão de obra.

A obtenção dos índices de custos em simultâneo com o tempo, é um elemento crucial de *feedback*, cuja importância é por demais evidente de apoio à gestão.

Foi ainda possível integrar a gestão de obra a um modelo BIM, introduzindo a informação relevante no software da simulação 4D e na criação de um modelo estático de cores que acrescenta informação do estado da obra (no tempo e do custo) a cada objeto/ elemento 3D.

Concluiu-se que através de uma folha de Excel é possível ligar e atualizar a informação proveniente do Navisworks eficazmente. A partir dessa folha foi conseguida a construção das restantes folhas, o cálculo automático dos indicadores EVM e a criação de tabelas e de gráficos dinâmicos que recolhem informação relevante para ser aplicada no modelo BIM (4D/5D).

A visualização dos elementos da construção num modelo estático de cores permite de uma forma rápida identificar quais os elementos e tarefas que se encontram atrasadas/ adiantas e /ou no tempo e geri-los, no tempo e no custo, percebendo de uma forma instantânea que linha de produção se deve seguir por exemplo para a semana seguinte.



Por último, concluiu-se que a metodologia usada nesta dissertação foi relevante ao alcançar os objetivos do trabalho.

## 6.2 Limitações e Desenvolvimentos Futuros

Pela constante evolução das metodologias BIM, e a possibilidade de evolução do *workflow* partilhado nesta Dissertação e as suas limitações, propõe-se de seguida alguns desenvolvimentos futuros.

A criação de uma API (*Application Programme Interface*) do método EVM para o *Navisworks* que permita fazer a análise e a gestão da obra numa única plataforma para um modelo 3D completo. A partir dessa API permite, obter índices e indicadores de gestão, para qualquer cenário de tempos e custos, criar gráficos automáticos das três métricas EVM e modelos de cores estáticos para os vários cenários atribuídos a essa análise.

Além da criação de uma API, poder-se-ia utilizar a sincronização do modelo 4D/5D com dispositivos móveis (*tablets, smartphones ou smartwatch*), através de uma plataforma/aplicação disponível para comunicação (*apps*), ou pela utilização de uma *Cloud-BIM*. A partilha da informação através de uma aplicação comum permite a comunicação eficiente entre as equipas de projeto e construção e em dar *feedback* sobre o empreendimento.

Por último, propõe-se o desenvolvimento de um novo tema de dissertação de continuidade aos trabalhos realizados nesta dissertação, em que a partir da modelação e da ferramenta criada para a análise de gestão EVM se pudessem extrair resultados que pudessem prever o comportamento de obra nos meses seguintes ao seu instante de estudo, e para cada alteração da construção se obtenham previsões de custo e de tempo.



## BIBLIOGRAFIA

- AIA. (2007). Integrated Project Delivery : A Guide. *The American Institute of Architects - AIA National & AIA California Council*, 1(1), 62. Retrieved from <http://www.cmhc.ca>
- Akbas, R. (2004). *Geometry-Based Modeling and Simulation of Construction Processes*. Stanford University.
- Akinci, B., Fischer, M., & Kunz, J. (2002). Automated Generation of Work Spaces Required by Construction Activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(4), 306–315. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:4\(306\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:4(306))
- Akinci, B., Tantisevi, K., & Ergen, E. (2003). Assessment Of The Capabilities Of A Commercial 4D CAD System To Visualize Equipment Space Requirements On Construction Sites. In K. R. M. and P. S. Chinowsky (Ed.), *Construction Research Congress 2003* (pp. 1–7). Honolulu, Hawaii, United States: ASCE - American Society of Civil Engineers. [http://doi.org/10.1061/40671\(2003\)116](http://doi.org/10.1061/40671(2003)116)
- Ambriz, R., & Landa, M. (2015). *Dynamic Scheduling with Microsoft® Project 2013 - The Book by and for Professionals*. Plantation, FL: J. Ross Publishing, Inc.
- APM. (2012). *Association for Project Management Body of Knowledge - 6th edition*. APM *Body Of Knowledge* (6th ed.). © Association for Project Management 2012.
- Autodesk. (2016). What Is BIM. Retrieved 15 April 2016, from <http://www.autodesk.com/solutions/bim/overview>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, (July), 241–253.
- Ballard, G., & Howell, G. G. (2003). An update on last planner. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 1–10. Retrieved from <http://www.leanconstruction.dk/media/16974/An Update on Last Planner.pdf>
- Baptista, A. (2015). *Utilização de Ferramentas BIM no Planeamento dde Trabalhos de Construção - Estudo de Caso*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- BIM Forum. (2013). Level of Development Specification. *August 22, 2013*. Retrieved from <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>
- BIM Forum. (2016). Level of Development Specification. *August 2016 ( Draft for Public Comment)*.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of Building

- Information Modelling (BIM). *International Journal of Project Management* 31, 31, 971–980. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Caires, B. E. A. (2013). *BIM as a tool to support the collaborative project between the Structural Engineer and the Architect BIM execution plan , education and promotional initiatives*. Universidade do Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/30677>
- Cavieres, A., Gentry, R., & Al-Haddad, T. (2011). Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: Conceptual design and preliminary structural analysis. *Automation in Construction*, 20(6), 716–728. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.01.003>
- Certal, F. (2015). *Uma breve introdução ao Ms Project*. Braga.
- Chau, K. W., Anson, M., & Zhang, J. P. (2004). Four-Dimensional Visualization of Construction Scheduling and Site Utilization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(4), 598–606. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(598\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(598))
- COBIM. Series 13 BIM construction (2012).
- Couto, J. P. (2013). Organização de Estaleiros e Planeamento Geral de Obras - Unidade Curricular de Organização e Gestão da Construção II (versão. v1). Escola de Engenharia Universidade do Minho.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (1st ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. <http://doi.org/2007029306>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Faria, J. A. (2013). Gestão de Obras e Segurança. FEUP.
- Florida Consultants. (2016). Demand for Alternative Project Delivery Rising in. Retrieved 15 April 2016, from <http://florida-consultants.com/florida-construction/demand-for-alternative-project-delivery-rising-in-florida/>
- Gray, C., & Hughes, W. (2001). *Building design management*. Routledge.
- Hardin, B., & McCool, D. (2015). *BIM and Construction Management: proven tools, methods, and workflows*. (Wiley, Ed.) (2nd Editio). Indiana: John Wiley & Sons.
- Hergunsel, M. F. (2011). *Benefits of Building Information Modeling For Construction Managers and BIM Based Scheduling*. WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE. Retrieved from <http://www.wpi.edu/Pubs/ETD/Available/etd-042011->

- 135239/unrestricted/MHergunsel\_Thesis\_BIM.pdf
- Jeong, Y. S., Eastman, C. M., Sacks, R., & Kaner, I. (2009). Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete. *Automation in Construction*, 18(4), 469–484. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.001>
- Jongeling, R., & Olofsson, T. (2007a). A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*, 16(2), 189–198. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.04.001>
- Jongeling, R., & Olofsson, T. (2007b). A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. *Automation in Construction*, 16, 189–198. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2006.04.001>
- Kamardeen, I. (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. *26th Annual ARCOM Conference*, (September), 281–289.
- Kenley, R. (2004). Project micromanagement: practical site planning and management of work flow. *12th Annual Conference on Lean Construction*, 4321(October), 3–5.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction - Planning, scheduling and control*. Oxon: Spon Press.
- Lino, J. C., Azenha, M., & Lourenço, P. (2012). Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. *Encontro Nacional Betão Estrutural -BE2012*, 24–26.
- Liston, K., Fischer, M., & Winograd, T. (2001). Focused sharing of information for multi-disciplinary decision making by project teams. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 6, 69–82.
- Mahalingam, A., Kashyap, R., & Mahajan, C. (2010). An evaluation of the applicability of 4D CAD on construction projects. *Automation in Construction*, 19(2), 148–159. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.015>
- McArthur, J. J. (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104–1111. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>
- McGraw Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America. SmartMarket Report*.
- Mitchell, D. (2012). 5D Bim : Creating Cost Certainty and Better Buildings. *2012 RICS COBRA, Las Vegas, Nevada USA, September 11-13*, 1–9.
- Monteiro, A., Mêda, P., & Martins, J. P. (2014). Framework for the coordinated application of two different integrated project delivery platforms. *Automation in Construction*,

- (38), 87–99. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580513002069>
- Monteiro, A., & Poças Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238–253. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005>
- Mubarak, S. (2015). *Construction Project Scheduling And Control - 3rd. Edition* (3rd. ed.). Hoboken, New Jersey.: JohnWiley & Sons, Inc. All.
- ndBIM Virtual Building. (2014). Uma metodologia avançada de planeamento potenciada pelo BIM. Retrieved 15 June 2015, from <http://www.ndbim.pt>
- PMI. (2000). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Pennsylvania - USA: Project Management Institute, Inc.
- PMI. (2004). *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK® guide. – 3rd Edition. ANSI/PMI 99-001-2004* (3rd Editio). Pennsylvania, USA: Project Management Institute, Inc. <http://doi.org/10.1002/pmj.21345>
- PMI. (2005). *Practice Standard for Earned Value Management*. USA: Project Management Institute, Inc. Retrieved from [http://www2.cdc.gov/cdcup/library/practices\\_guides/cdc\\_up\\_earned\\_value\\_practices\\_guide.pdf](http://www2.cdc.gov/cdcup/library/practices_guides/cdc_up_earned_value_practices_guide.pdf)
- PMI. (2011). *Practice standard for scheduling* (2nd Editio). Pennsylvania - USA: Project Management Institute, Inc.
- Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Fifth Edition* (5th ed.). Pennsylvania 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc.
- Rodriguez Martinez, N. (2013). Optimization of Flowline Scheduling vs. Balanced Resources and Task Continuity, (May), 145. <http://doi.org/urn:nbn:no:ntnu:diva-21872>
- Salgado, P. M. L. (2016). *Planeamento e controlo de projetos em ambiente colaborativo com recurso a ferramentas BIM*. Universidade do Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/40367>
- Sattineni, A., & Bradford, R. (2011). Estimating with bim: a survey of US construction companies. *International Association for Automation and Robotics in Construction*, 564–569. Retrieved from <http://www.iaarc.org/publications/fulltext/S16-6.pdf>
- Seppänen, O., & Kankainen, J. (2004). Empirical research on deviations in production and current state of project control. *12th Conference of the International Group for Lean Construction*, 206–219.

- Silva, J. (2013). Princípios para o Desenvolvimento de Projeto com Recurso a Ferramentas BIM.
- Singh, V., Gu, N., & Wang, X. (2011). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. *Automation in Construction*, 20(2), 134–144. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.011>
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475–484. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>
- Sousa, H., & Monteiro, A. (2011). Linha de Balanço-Uma nova abordagem ao Planeamento e Controlo na Construção. *CD Do 2º Fórum Internacional de Gestão Da Construção – GESCON 2011*, 1–12.
- Sousa, N. (2008). *Gestão de Projectos Na Construção - Modelo de avaliação do desempenho em projectos*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Teicholz, P. (2013). Labor-productivity declines in the construction industry: causes and remedies (another look). *AECbytes*. Retrieved from <http://www.aecbytes.com/archive-articles/index.html>
- Tekla. (2016). What is BIM? Retrieved 30 March 2016, from <http://www.tekla.com/about/what?is?bim>
- Thomassen, M. (2011). *BIM & Collaboration in the AEC Industry*. Aalborg University. Retrieved from [http://projekter.aau.dk/projekter/files/55376698/BIM\\_Collaboration\\_in\\_the\\_AEC\\_Industry\\_by\\_Mats\\_Thomassen.pdf](http://projekter.aau.dk/projekter/files/55376698/BIM_Collaboration_in_the_AEC_Industry_by_Mats_Thomassen.pdf)
- Trebbe, M., Hartmann, T., & Dorée, A. (2015). 4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors. *Automation in Construction*, 49(PA), 83–91. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.002>
- Trimble. (2015). What Does 4D BIM Mean to YOU? Retrieved 31 October 2016, from <http://www.vicosoftware.com/what-is-4D-BIM>
- US General Services Administration. (2009). 04 - GSA BIM Guide for 4D Phasing (pp. 6–7). Retrieved from <http://www.gsa.gov/portal/content/105075>
- Vanhoucke, M. (2014). *Integrated Project Management and Control - First Comes the Theory, then the Practice. Management for Professionals*. Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-04331-9>

- Vico Software. (n.d.). Vico Office Suite - A Construction Oriented 5D BIM Environment.
- Wang, H. J., Zhang, J. P., Chau, K. W., & Anson, M. (2004). 4D-Based Construction Management for Construction Planning and Resource Utilization. *Automation in Construction*, 13(5), 575–589.
- Wang, L., Shen, W., Xie, H., Neelamkavil, J., & Pardasani, A. (2002). Collaborative conceptual design—state of the art and future trends. *Computer-Aided Design*, 34(13), 981–996. [http://doi.org/10.1016/S0010-4485\(01\)00157-9](http://doi.org/10.1016/S0010-4485(01)00157-9)
- Yung, P., & Wang, X. (2014). A 6D CAD model for the automatic assessment of building sustainability. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(1), 1–10. <http://doi.org/10.5772/58446>
- Zhyzhneuski, A., & Babic, M. N. (2011). Development and use of Building Information Model, (October).



# **ANEXO I – CAPÍTULO 3**

Tabela de cálculo das cotas das caixas de visita residuais

Nº Caixa de visita	L (m)	Nº Entradas dos ramais	Diâmetro (mm)	Cotas de Entrada dos coletores (m)	Cotas de Saída dos coletores (m)	Profundidade da caixa (m)
1	4,3120	1	90	-0,4712	-0,6212	0,8000
		2				
2	5,3630	1	125	-0,7074		1,2
		2	110	-0,1287	-0,8574	
		3	90	-0,4346		
		4	110	-0,0654		
3	3,4610	1	125	-0,9647		1,3
		2	90	-0,4339	-1,1147	
		3	110	-0,2045		
		4	90	-0,4914		
		5	110	-0,1158		
		6	90	-0,4268		
4		1	125	-1,1839	-1,3339	
5	8,9450	1	125	-1,5128	-1,6628	
6	15,6910	1	125	-1,9766		
		2			-2,1266	
		3				
		4	50	-0,2513		
7	1,9498	1	125	-2,3502		3,0
		2	110	-0,1431	-2,5002	
		3	90	-0,4587		
		4	110	-0,1158		
		5	110	-0,1541		
8	8,9009	1	125	-2,5392		
		2	110	-0,1981	-2,6892	
		3	90	-0,6308		
		4	90	-0,8166		
14	11,827	1	125	-2,8673	-3,0173	
		2	125	-2,2510		
13	8,0900	1	125	-1,9045		
		2	90	-0,4418	-2,0545	
		3	110	-0,1523		
		4	90	-0,4721		
12	10,6935	1	125	-1,5927		
		2	110	-0,2262	-1,7427	
		3	90	-0,5034		
11		1	125	-1,2288	-1,3788	
10	4,5400	1	125	-0,9880		
		2	75	-0,1285	-1,1380	
		3	50	-0,1186		
9	14,400	1	90			
		2	90	-0,5402	-0,7000	
		3	90	-0,5500		

Para D=125 :  $CE(n) = CS(n-1) + 0,02 \cdot L$

L - Distância entre caixas de visita (n) e (n-1)

\*considerar a existência de degraus;

\*tubagens de ventilação a colocar das águas pluviais e residuais

\* Entradas de D=125 mm

Nota- cotas referenciadas a partir do nível **MEP - águas residuais**

ângulo de entrada **88,8542 °**

Tabela de cálculo das caixas de visita pluviais

CP. Nº

Nº Caixa de visita	L (m)	Nº Entradas dos ramais	Diâmetro (mm)	Cotas de Entrada do coletor (m)	Cotas de Saída do coletor (m)	Profundidade da caixa (m)
1	12,9300	1	140	-0,3500	-0,5653	
		2	140	-0,4153		
		3	140	-0,3500		
2	11,0780	1	140	-0,3500	-0,9739	
		2	250	-0,8239		
		3	140	-0,4158		
3	5,0010	1	140	-0,3500	-1,3455	
		2	250	-1,1955		
		3	140	-0,4157		
4	9,2100	1	250	-1,4455	-1,5955	
		2	140	-0,3500		
5	8,4000	1	250	-1,7797	-1,9297	
		2	140	-0,3500		
6	14,9110	1	250	-2,0977	-2,2477	
		2	140	-0,3500		
7		1	250	-2,5459	-2,6959	
		2	140	-0,4564		

Para D=125 :  $CE(n) = CS(n-1) + 0,02 \cdot L$ 

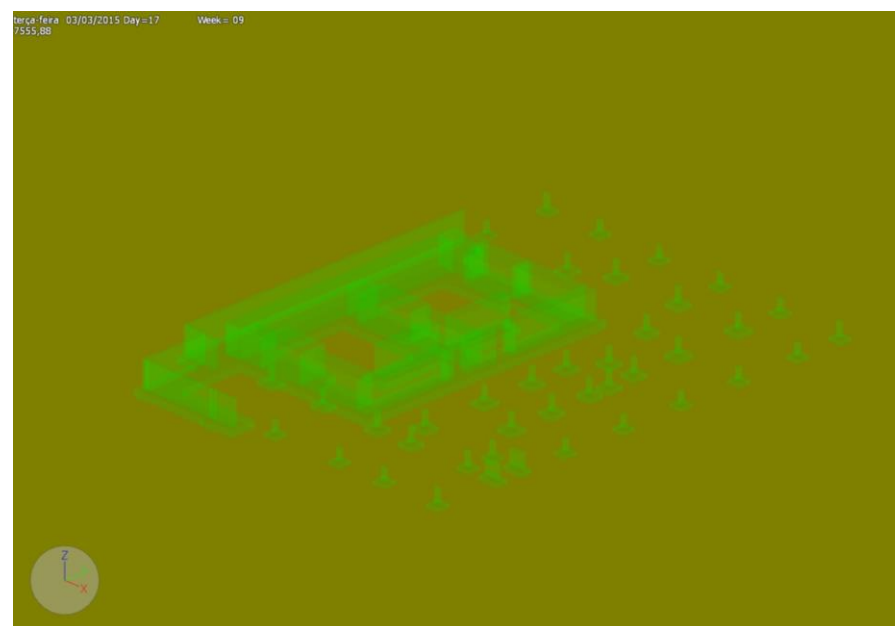
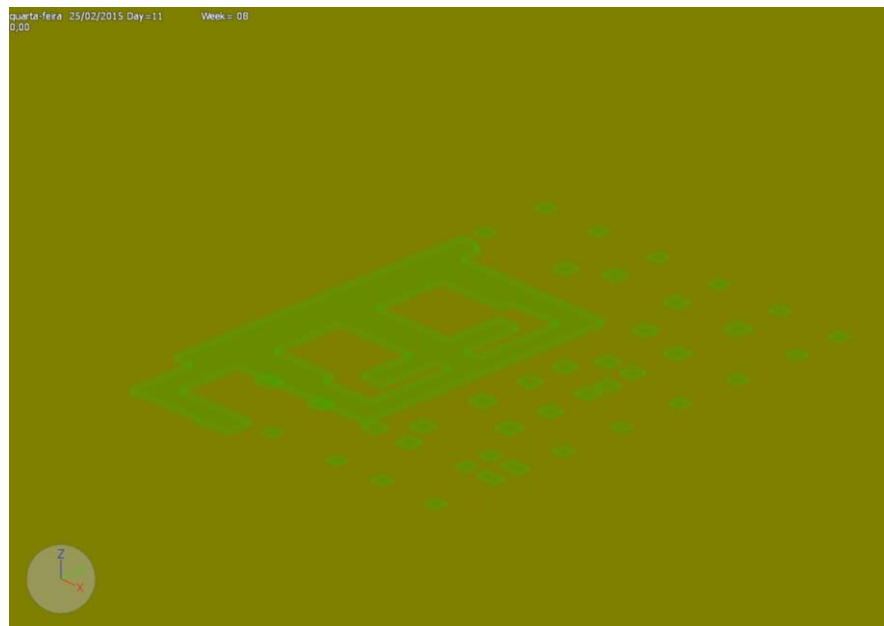
L - Distância entre caixas de visita (n) e (n-1)

\*considerar a existência de degraus espaçados de 0,30 m;  
a partir dos 0,60 m de profundidade

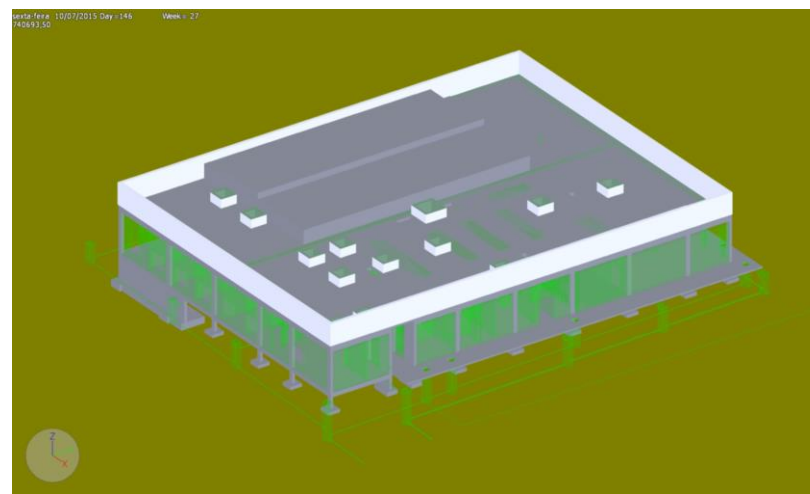
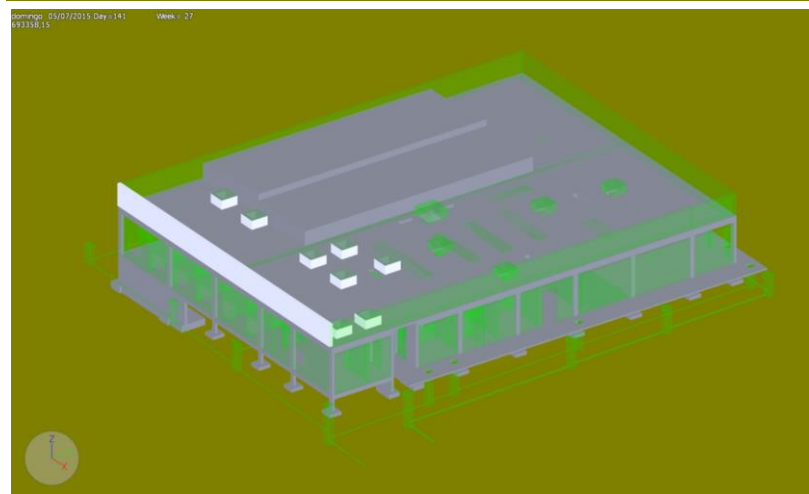
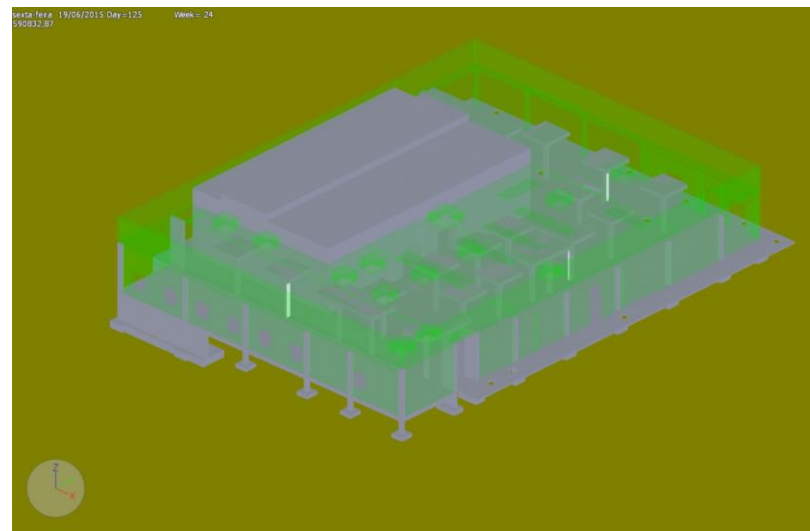
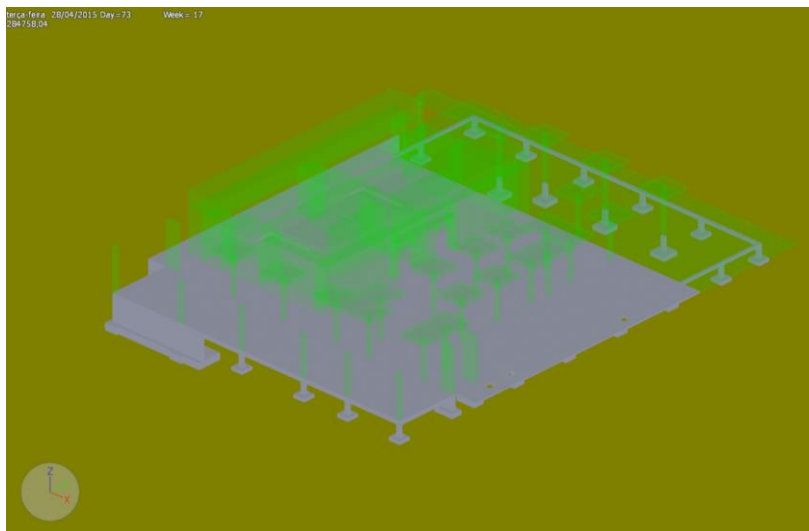
Nota- cotas referenciadas a partir do nível **MEP - águas residuais**ângulo de entrada **88,8542 °**

## **ANEXO II – CAPÍTULO 4**

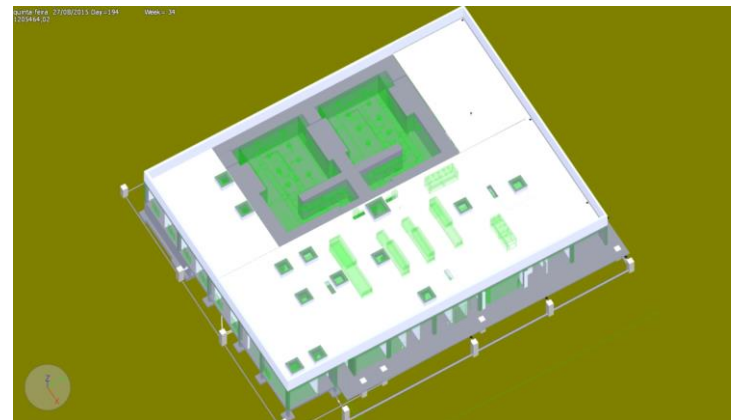
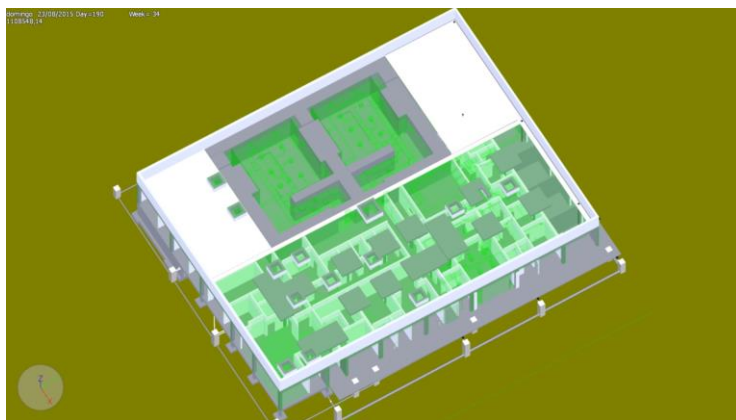
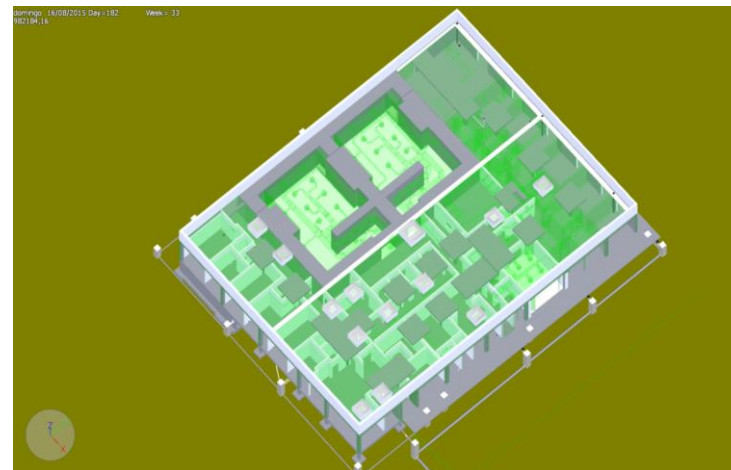
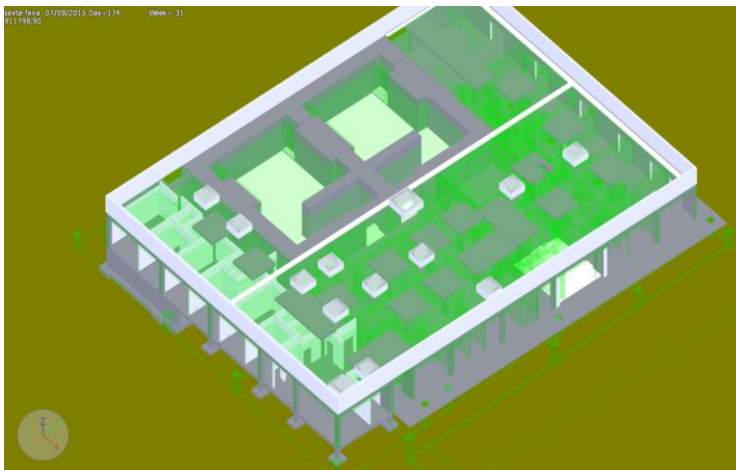
### Simulação das semanas 08 e 09 – por fases de execução das Fundações



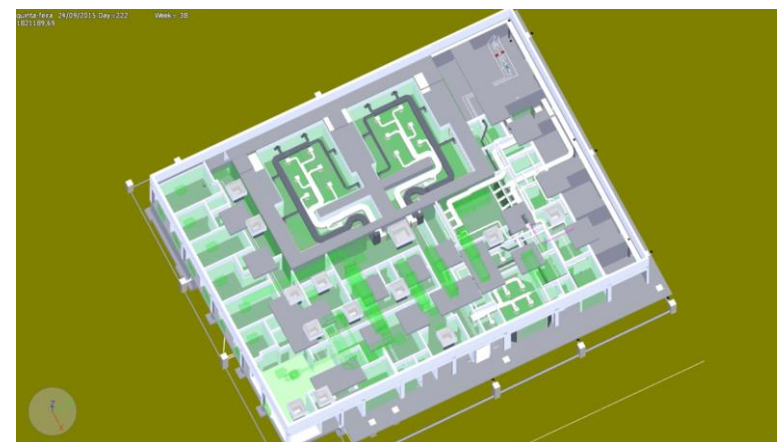
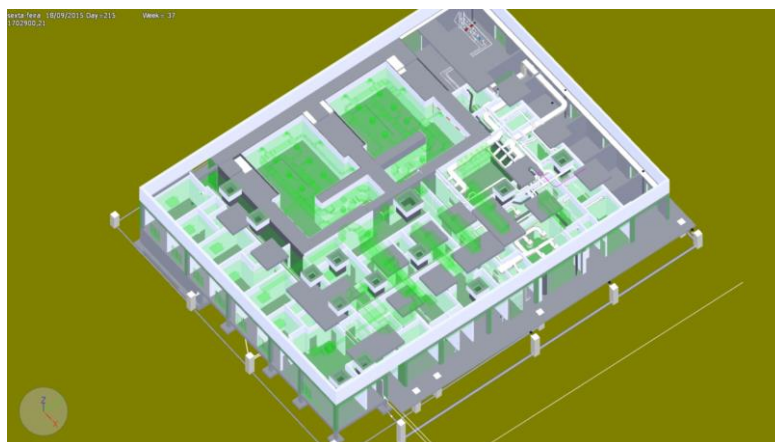
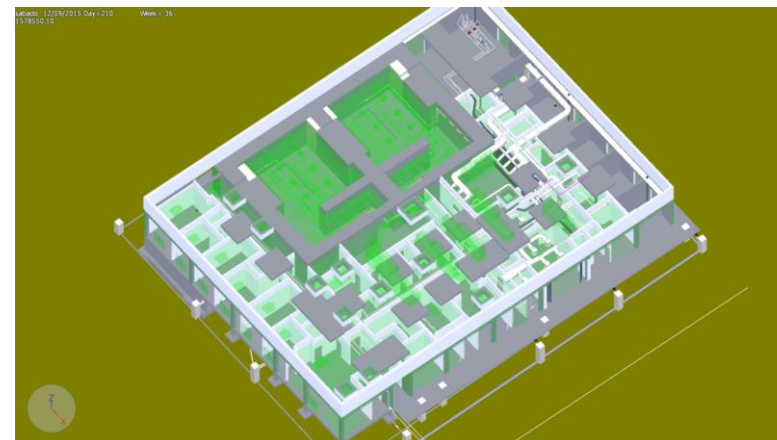
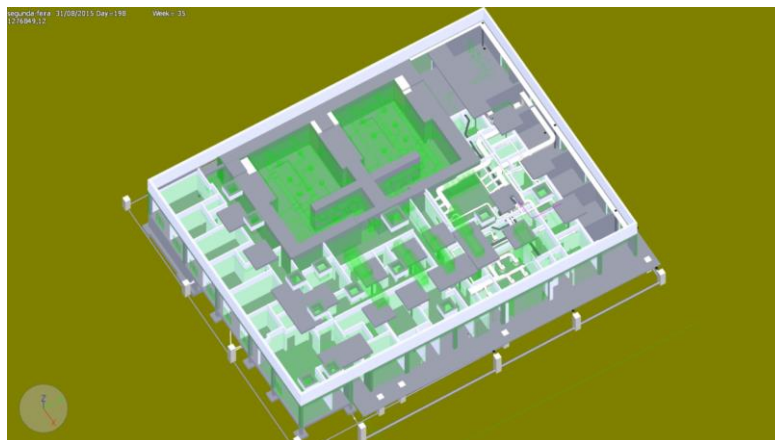
Simulação das semanas 17, 24 e 27 – por fases de execução da Superestrutura, início dos trabalhos de Arquitetura (Paredes Exteriores e trabalhos da cobertura) e das Redes de Drenagem.



Simulação das semanas 31, 33 e 34 – por fases de execução dos trabalhos de Arquitetura (Paredes Interiores e trabalhos da cobertura),  
finalização das Redes de Drenagem e início da instalação dos equipamentos, das redes de AVAC e de águas.

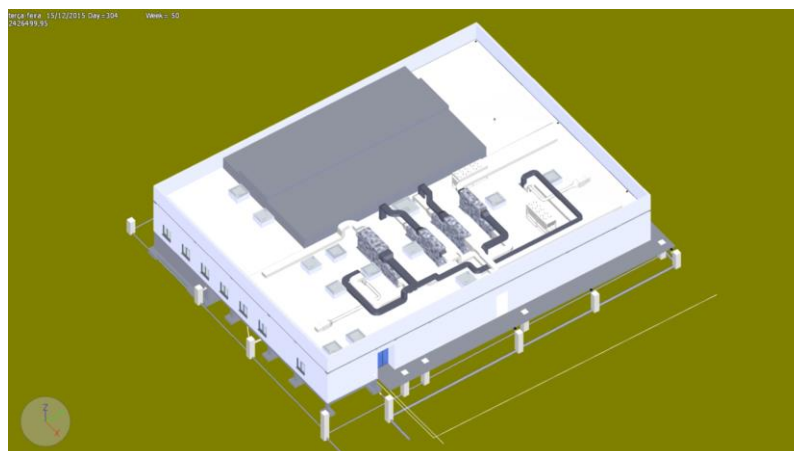
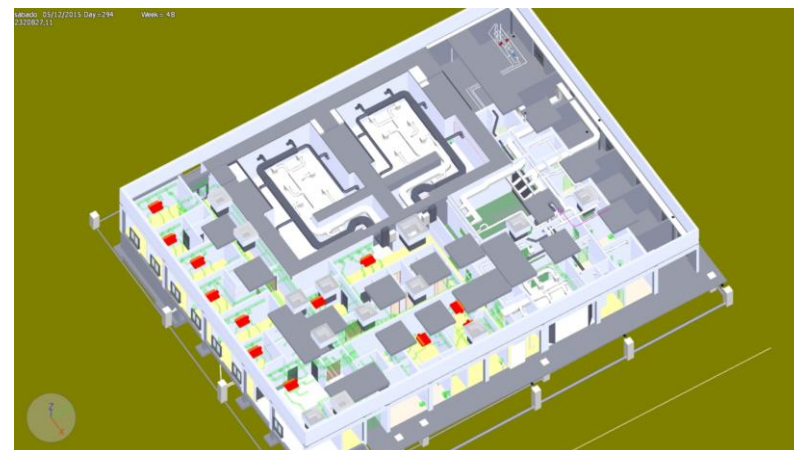
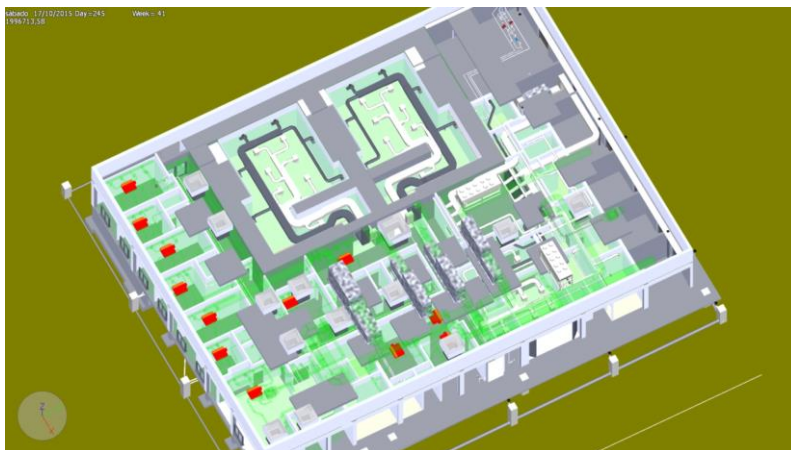


Simulação das semanas 35, 36, 37 e 38 – por fases de execução dos trabalhos de Arquitetura (Revestimento de Paredes interiores, aplicação de pavimentos e tetos falsos) e instalação dos equipamentos e das redes de MEP.





Simulação das semanas 41, 48 e 50 – Finalização das instalações MEP e acabamentos de Arquitetura até ao modelo final da semana 50.



## **ANEXO III – CAPÍTULO 5**

Gráfico do valor acumulado EV

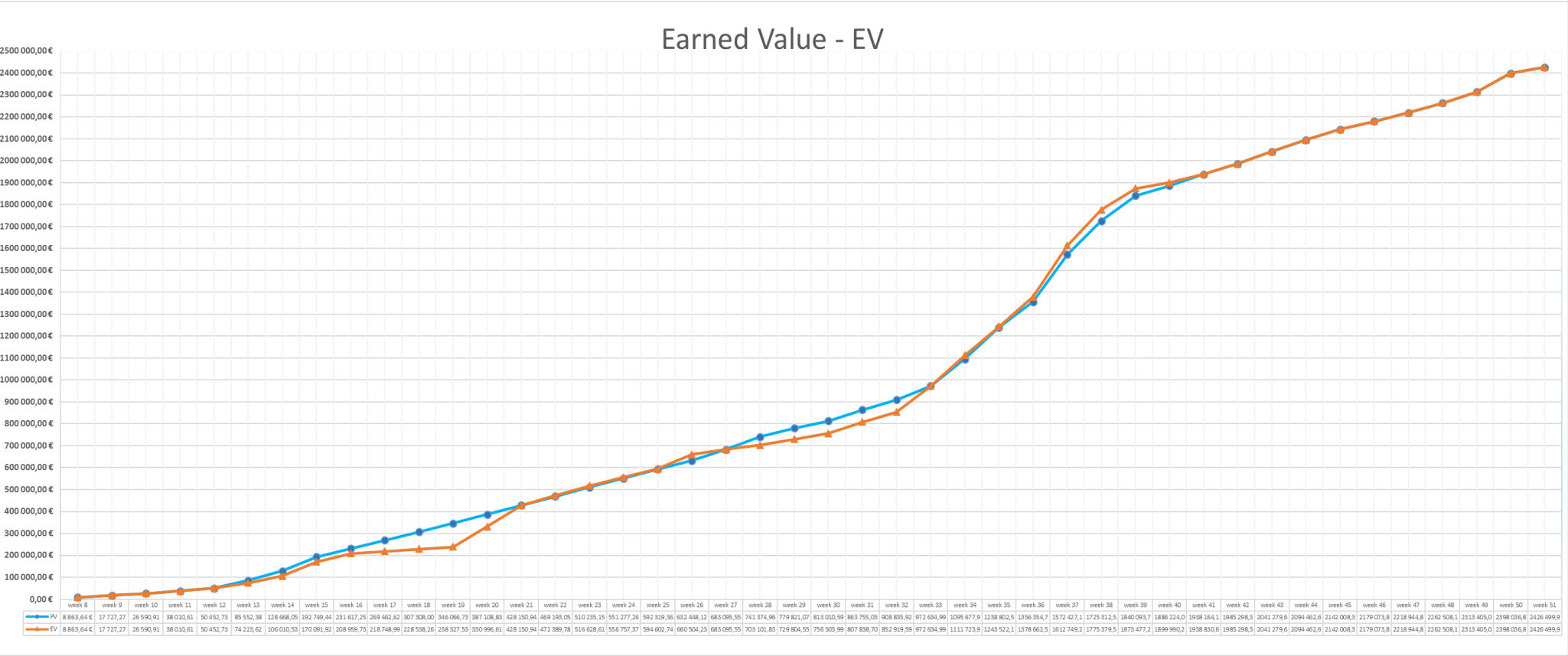


Gráfico do valor acumulado AC

